

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL

GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO RURAL



CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA PARA EL ORDEÑO DE CABRAS MURCIANO-GRANADINA II

Curso académico 2015/2016

TRABAJO FINAL DE GRADO

ALUMNA:

CARLA BACETE FERRANDO

DIRECTORES ACADÉMICOS:

NEMESIO FERNÁNDEZ MARTÍNEZ

SEBASTIÀ BALASCH PARISI

No confidencial

VALENCIA, 7 DE JULIO DEL 2016

CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA PARA EL ORDEÑO DE CABRAS MURCIANO-GRANADINA II

RESUMEN

Existe la impresión, casi unánime entre sus usuarios, de que el ordeño mecánico de las cabras de raza Murciano-Granadina se realiza de una manera excesivamente lenta. Tras un primer trabajo exploratorio, en las instalaciones de la Universitat Politècnica de València, en las que esa impresión era compartida, se comprobó que la problemática de un ordeño lento no residía en los materiales de ordeño sino en la elevada dureza del esfínter del pezón de los animales. También se comprobó que la solución radicaba en la elevación de los niveles de vacío y/o la velocidad de pulsación. Esa elevación del nivel de los parámetros de ordeño conllevaba, a corto plazo, un incremento del espesor de los tejidos del pezón, por lo que era necesario llevar a cabo trabajos a largo plazo con los parámetros de ordeño nuevos, para comprobar el efecto sobre las condiciones de ordeño y el estado sanitario de la ubre de los animales. El objetivo de este trabajo va en esa línea, de manera que se comparan los resultados de la aplicación de dos combinaciones de parámetros de ordeño (42 kPa, 120 ppm y 60 % vs 44kPa, 120 ppm y 60%, para el nivel de vacío, velocidad de pulsación y relación de pulsación, respectivamente), utilizando como variables de control la producción, la composición y el fraccionamiento de la leche en el ordeño, el recuento de células somáticas en leche, la variación del espesor de los tejidos del pezón tras el ordeño y los parámetros de la cinética de emisión de la leche durante el ordeño. Prácticamente, ninguna de las variables de interés (producción, fraccionamiento, flujos de leche o tiempos de ordeño) para la mejora de la velocidad o la aptitud al ordeño mecánico, presentaron variación significativa con la elevación del nivel de vacío desde 42 a 44 kPa. Sin embargo, el empleo de 44 kPa supuso un incremento del espesor de los tejidos por encima del 5%, de la conductividad máxima y la temperatura de leche ordeñada. Por todo ello, se concluye que, en las condiciones semejantes a las de este trabajo, la combinación 42:120:60 era la más adecuada para el ordeño mecánico de ganado caprino de raza Murciano-Granadina.

There is an impression, almost unanimous among users, that mechanical milking of Murciano-Granadina goats breed is performed excessively slowly. After an initial exploratory work in the facilities of the Polytechnic University of Valencia, where this impression was shared, it was found that the problem of a slow milking did not reside in the materials of milking machine but the high hardness sphincter of the animals. It was also found that the solution lay in raising levels of vacuum and / or pulsation rate. That level rise milking parameters entailed the short term, an increase in the thickness of the tissue, so it was necessary to carry out long-term work with the parameters of new milking, to check the effect on conditions of milking and udder health status of the animals. The aim of this work is in that line, so that the results of the application of two combinations of milking parameters (42 kPa, 120 ppm and 60% vs 44kPa, 120 ppm and 60%, to the vacuum level, pulsation rate and ratio, respectively), using control variables as production, composition and fractionation of milk during milking, somatic cell count in milk, variation of the thickness of the tissue after milking and the parameters of the emission milk kinetics. Virtually none of the variables of interest (production, fractionation, milk flow or milking times) to improve speed or milkability, showed

significant variation with the elevation of the vacuum level from 42 to 44 kPa. However, the use of 44 kPa showed an increase of tissue thickness above 5% and a maximum conductivity and temperature of milk was obtained. Therefore, it is concluded that, in similar conditions of this study, the combination 42: 120: 60 was the most suitable for machine milking Murciano-Granadina breed goats.

Palabras clave: Aptitud al ordeño mecánico, parámetros de ordeño, cabras, Murciano-Granadina.

Alumna: Carla Bacete Ferrando

Tutor Académico: Nemesio Fernández Martínez

Cotutor: Sebastià Balasch Parisi.

No confidencial

ÍNDICE DE MATERIAS

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Importancia de la producción de la leche de cabra	1
1.1.1. Importancia de la producción de la leche de cabra a nivel mundial.....	1
1.1.2. Importancia de la producción de la leche de cabra a nivel europeo	3
1.1.3. Importancia de la producción de la leche de cabra en España.....	4
1.1.4. Importancia de la producción de la leche de cabra en la Comunidad Valenciana	5
1.2. Morfología mamaria.....	6
1.3. Componentes y funcionamiento de la máquina de ordeño	9
1.4. Aptitud al ordeño mecánico.....	11
1.4.1. Fraccionamiento de la leche en el ordeño	11
1.4.2. Cinética de emisión de la leche	12
1.4.3. Factores fisiológicos	13
1.4.4. Factores anatómicos	14
1.5. Posibles efectos de la máquina de ordeño sobre el estado sanitario de la ubre y su detección.....	14
1.5.1. Recuento de células somáticas en la leche	14
1.5.2. Efectos sobre el pezón.	14
1.5.3. Congestión/edema del extremo del pezón.....	15
2. OBJETIVO	16
3. MATERIAL Y MÉTODOS	17
3.1. Diseño experimental	17
3.2. Calendario experimental.....	18
3.3. Base animal y alimentación.....	19
3.4. Recogida de datos	22
3.4.1. Producción y fraccionamiento de la leche	22
3.4.2. Composición de la leche y RCS.....	22
3.4.3. Morfología de la ubre.....	23
3.4.4. Dureza del esfínter del pezón	23
3.4.5. Edematización de la base del pezón	24
3.4.6. Cinética de emisión de la leche	25
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28

4.1 Resultados	28
4.2. Discusión	32
5. CONCLUSIONES	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución del censo mundial de ganado caprino.....	1
Figura 2. Distribución del censo caprino mundial.....	2
Figura 3. Distribución de la producción lechera caprina a nivel mundial.....	2
Figura 4. Evolución del censo caprino europeo.....	3
Figura 5. Representación geográfica del censo caprino en España.....	5
Figura 6. Distribución de la producción lechera caprina en la Comunidad Valenciana.....	5
Figura 7. Dibujo esquemático de la mama de la cabra.....	6
Figura 8. Esquema de diferentes inserciones de la ubre.....	7
Figura 9. Esquema la anchura de inserción posterior de la ubre.....	7
Figura 10. Esquema de varios tipos de ligamientos suspensores medios.....	8
Figura 11. Esquema de distintas profundidades de ubres.....	8
Figura 12. Esquema de una instalación de ordeño.....	9
Figura 13. Esquema de un juego de ordeño.....	10
Figura 14. Representación de los cuatro tipos de curvas de emisión de la raza Murciano-Granadina.....	13
Figura 15. Principales mecanismos de eyección de la leche.....	13
Figura 16. Fotografía de un cutímetro con lector electrónico.....	16
Figura 17. Sala de ordeño tipo 2x12x6 utilizada en el experimento.....	17
Figura 18. Esquema del diseño experimental de los lotes en el tiempo.....	18
Figura 19. Calendario experimental.....	20
Figura 20. Aplicadores de lodo.....	22
Figura 21. Analizadores de composición y RCS en leche.....	23
Figura 22. Vacuómetro digital.....	24
Figura 23. Medición de la base del pezón utilizando un cutímetro electrónico.....	24
Figura 24. Medidor volumétrico.....	25
Figura 25. Medidor electrónico LactoCorder®.....	25
Figura 26. Curva de cinética, obtenida del medidor electrónico LactoCorder®, de una cabra cuyo flujo de leche es muy bueno.....	27
Figura 27. Curva de cinética, obtenida del medidor electrónico LactoCorder®, de una cabra cuyo	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Censo poblacional y producción de leche del ganado caprino lechero, en algunos países europeos.....	3
Tabla 2. Producción láctea de los pequeños rumiantes en España, en miles de litros.....	6
Tabla 3. Condiciones medias de las cabras utilizadas.....	19
Tabla 4. Ración tipo para cabras lactantes Murciano-Granadinas.....	21
Tabla 5. Morfología mamaria de los animales empleados.....	23
Tabla 6. P-valores asociados a los efectos estudiados en el ANOVA de medidas repetidas para las variables productivas y del fraccionamiento de la leche en el ordeño.....	28
Tabla 7. Valores medios (Medias \pm ES) de las variables productivas y del fraccionamiento de la leche en el ordeño en cada uno de los niveles de parámetro de ordeño estudiados.....	29
Tabla 8. P-valores asociados a los efectos estudiados en el ANOVA de medidas repetidas para las variables de composición y del recuento de células somáticas en leche.....	29
Tabla 9. Valores medios (Medias \pm ES) de la composición y el recuento de células somáticas en leche.....	29
Tabla 10. P-valores asociados a los efectos estudiados en el ANOVA de medidas repetidas para el espesor del tejido en la punta del pezón antes y después del ordeño.....	30
Tabla 11. Valores medios (Medias \pm ES) del espesor de los tejidos del pezón antes y después del ordeño en cada uno de los niveles de parámetro de ordeño estudiados.....	30
Tabla 12. P-valores asociados a los efectos estudiados en el ANOVA de medidas repetidas para algunas de las variables de cinética de emisión de leche estudiadas.....	31
Tabla 13. Valores medios (Medias \pm ES) de algunas de las variables de cinética de emisión estudiadas.....	31
Tabla 14. Correlación y P-valor de la fuerza del esfínter con algunas variables de la cinética de emisión de leche.....	32

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Importancia de la producción de la leche de cabra

1.1.1. Importancia de la producción de la leche de cabra a nivel mundial

El censo mundial de ganado caprino es de 975.803.263 cabezas, como se puede observar en la Figura 1, y con una tendencia creciente, produciendo aproximadamente un total de 16 millones de toneladas de leche anuales (FAO, 2013). Esta producción caprina supone un 2,2% de la producción mundial de leche total (FAO, 2013). A pesar de este bajo porcentaje, la producción lechera caprina es de suma importancia en algunas zonas del mundo.

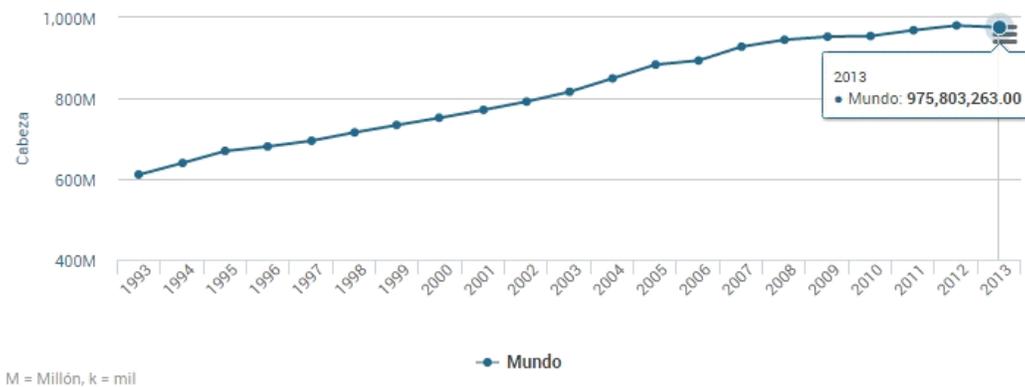


Figura 1. Evolución del censo mundial de ganado caprino (FAO, 2013).

En los países desarrollados, el censo de estos animales es bajo. Sin embargo, están muy valorados ya que de ellos se obtienen productos de alta calidad y precio. Las cabras tienen una alta producción de leche, puesto que las razas utilizadas han seguido rigurosos programas de mejora.

En los países en vías de desarrollo, el censo caprino es muy elevado. La producción caprina puede considerarse una de las bases de la alimentación, porque de estos animales se obtiene carne y productos lácteos con una inversión mínima. Las cabras están muy difundidas en climas áridos y semiáridos puesto que la vegetación no es abundante ni fresca, y estos animales pueden transformarla en productos de buena calidad a muy bajo coste.

Como se puede observar en la Figura 2, la mayor parte de la población caprina se sitúa en Asia, mientras que el porcentaje censal europeo es muy reducido.

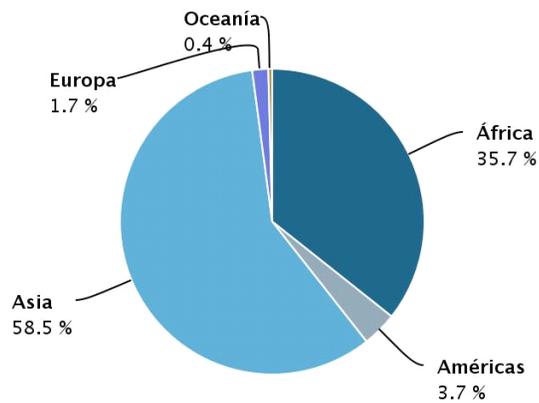


Figura 2. Distribución del censo caprino mundial (FAO, 2013).

Sin embargo, en la producción lechera la ordenación varía. Por ejemplo, América produce casi un cuarta parte de lo que produce Europa (Figura 3) con una población caprina 2,5 veces mayor.

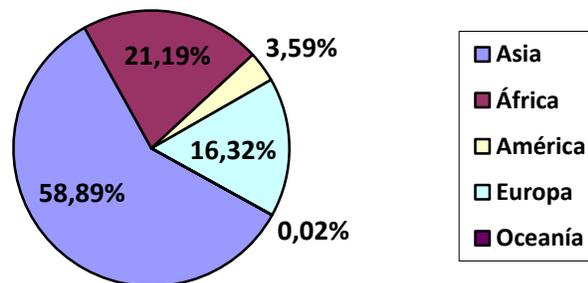


Figura 3. Distribución de la producción lechera caprina a nivel mundial (elaboración propia en base a los datos de MAGRAMA, 2012).

Oriente próximo cuenta con la mayor producción de leche de cabra y oveja por habitante. Destacan India, Pakistán y Bangladesh como los principales productores, siendo el rendimiento medio de 140 kg/año y cabra, 140 kg/año y cabra y 80 kg/año y cabra, respectivamente (FAO, 2013).

1.1.2. Importancia de la producción de la leche de cabra a nivel europeo

El censo europeo caprino es de 16.527.388 cabezas (FAO, 2013), lo que supone un 1,7% del censo mundial. Sin embargo, representa un 16,32% de la producción total de leche de cabra. Esto quiere decir que utilizando un número menor de cabras, mejoradas genéticamente, se obtiene un rendimiento mayor. Para seguir dichos programas hay que realizar una inversión de capital que sólo los países desarrollados están dispuestos a afrontar.

En la Figura 4, se puede apreciar una disminución del censo caprino que, por las razones previamente señaladas, no se traduce en una disminución de la producción lechera.

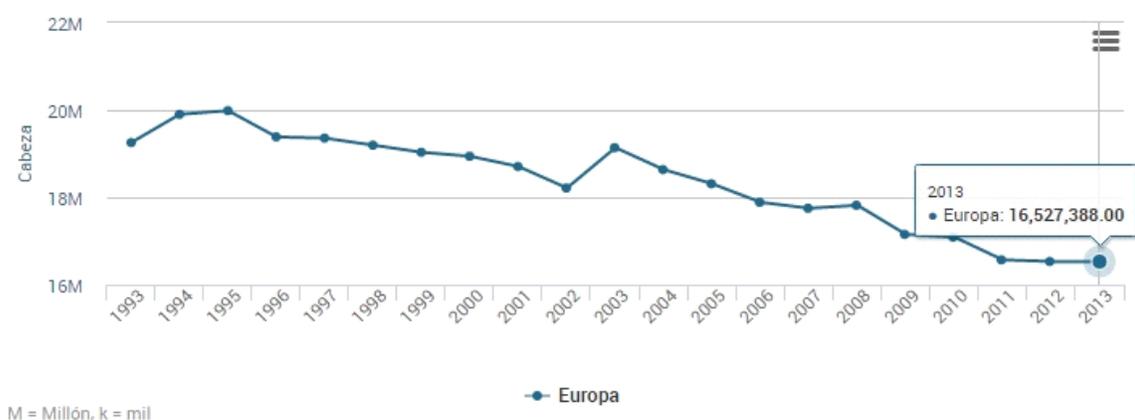


Figura 4. Evolución del censo caprino europeo (FAO, 2013).

País	Censo 1990	Censo 2009	Prod. leche 2009 (lts)	Leche/cabra /año (lts)
Grecia	5.347.827	4.829.000	505.000.000	104,5
España	3.663.314	2.933.000	473.000.000	161,3
Francia	1.226.000	1.318.000	623.460.000	473
Italia	1.246.000	961.000	46.000.000	47,9
Portugal	857.000	487.300	26.877.000	55,2
Holanda	70.000	416.000	190.000.000	456,7

Tabla 1. Censo poblacional y producción de leche del ganado caprino lechero, en algunos países europeos (FAO, 2009; EUROSTAT, 2010).

Casi el 80 % del censo caprino de la Unión Europea se encuentra en Grecia, España, Francia, Italia y Portugal (Tabla 1).

Grecia es el país europeo con mayor número de cabezas de ganado caprino. Sin embargo, su producción lechera se sitúa en segundo lugar. Esto se debe a que el rendimiento medio de la producción lechera es menor (104,5 L/cabra y año) que el de Francia y España.

Francia es el país que más ha desarrollado este subsector, puesto que su ganado caprino ha sido muy seleccionado y sus sistemas de explotación están muy intensificados. Por este motivo, aunque el censo de ganadería caprina sea menor que el de Grecia y España, la producción total de leche es muy superior. Esto es debido a que el rendimiento medio por cabra cuadruplica al de estos países (473 L/cabra y año). Por lo general, esa leche va destinada a la producción de quesos de gran calidad, que están altamente valorados en el mercado.

1.1.3. Importancia de la producción de la leche de cabra en España

En España, la renta láctea supone un 21% de la renta final ganadera (MAGRAMA, 2010). Dentro de este subsector, la leche de vaca supone un 75,8% y la de cabra un 10,7% respecto a la producción lechera total. Por este motivo, se puede decir que la producción caprina aporta un 2,2% de la renta final ganadera.

España es el segundo país con más censo caprino lechero a nivel europeo. Cuenta con 2.933.000 cabezas, lo que representa un 22,6% con respecto al censo total en la Unión Europea (FAO, 2009; EUROSTAT, 2010).

La producción anual es de 473 millones de litros, lo que sitúa a España en el tercer puesto en el ranking europeo. El rendimiento medio individual por cabra es de 161,3 L/cabra y año (FAO, 2009; EUROSTAT, 2010).

Una cantidad importante de la leche de cabra se destina a la producción de quesos, que es un producto muy bien valorado. La producción de queso puro de cabra ha aumentado en los últimos años, siendo de 20.400 toneladas, es decir, el 40% de la leche de cabra está destinada a este tipo de producción quesera (MAGRAMA, 2009).

En cuanto a las razas autóctonas, se han seleccionado y se han hecho programas de mejora con el fin de elevar el rendimiento del animal y la calidad lechera. Las razas más utilizadas en la producción lechera son: Alpina, Florida, Majorera, Malagueña, Murciano-Granadina y Retinta (MAGRAMA, 2009).

Con respecto a la distribución geográfica, las comunidades con mayor censo son Andalucía, Canarias, Castilla-La-Mancha y Murcia, como se puede observar en la Figura 5.

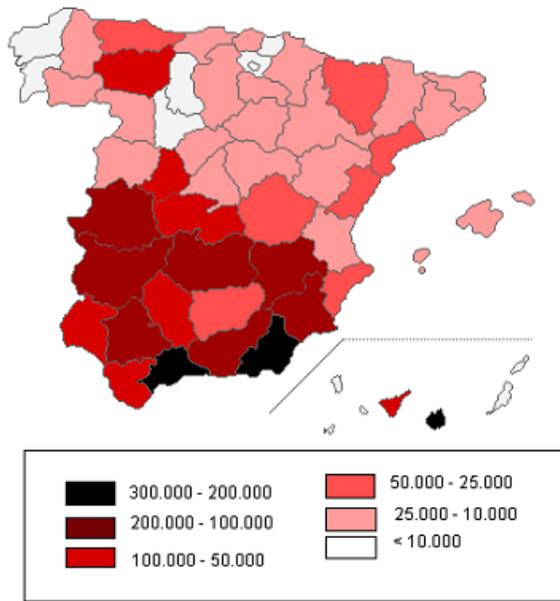


Figura 5. Representación geográfica del censo caprino en España (MARM, 2008).

1.1.4. Importancia de la producción de la leche de cabra en la Comunidad Valenciana

Actualmente, la Comunidad Valenciana cuenta con un censo de 28.109 ejemplares de caprino lechero (MAGRAMA, 2013), repartidos en unas 200 explotaciones, que producen un total de unas 13.000 toneladas anuales de leche, agrupando Alicante el 55% de la producción total (Figura 6).

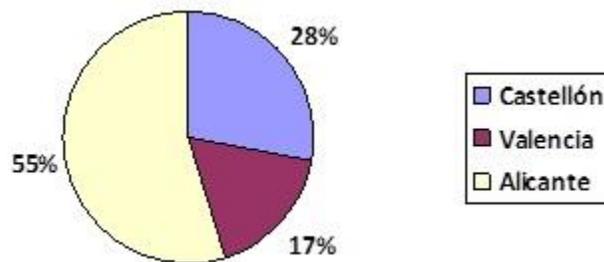


Figura 6. Distribución de la producción lechera caprina en la Comunidad Valenciana (elaboración propia en base a los datos de MAGRAMA, 2013).

En la tabla 2, se puede observar un aumento, en cuanto a la producción láctea del ganado caprino, de casi de 1 millón de litros, en cuestión de dos años, en la Comunidad Valenciana.

	leche de oveja			leche de cabra		
	2010	2011	2012	2010	2011	2012
GALICIA	--	--	--	--	--	--
P. DE ASTURIAS	60	65	70	2.000	2000	1.900
CANTABRIA	--	--	--	--	--	--
PAIS VASCO	8.551	7.922	7.398	422	438	429
NAVARRA	8.820	7.534	10.365	407	411	399
LA RIOJA	485	451	689	870	889	1.089
ARAGON	3.418	3.211	4.533	1.276	1.694	3.098
CATALUÑA	513	1.321	1.208	7.180	7.775	6.151
BALEARES	82	70	356	140	110	480
CASTILLA-LEON	386.135	352.501	366.537	36.435	33.693	30.076
MADRID	9.012	8.064	8.002	4.358	5.557	5.178
CASTILLA-LA MANCHA	130.648	104.579	137.683	72.904	58.392	58.766
C. VALENCIANA	1.474	1.403	1.678	12.661	12.081	13.386
MURCIA	--	--	--	39.860	30.486	35.317
EXTREMADURA	5.977	5.795	5.101	24.302	23.015	20.352
ANDALUCIA	6.860	6.979	5.573	218.150	202.523	183.381
CANARIAS	3.914	3.671	3.326	85.695	87.637	83.224
TOTAL NACIONAL	565.949	503.566	552.517	506.660	466.702	443.625

Tabla 2. Producción láctea de los pequeños rumiantes en España, en miles de litros (MAGRAMA, 2013).

1.2. Morfología mamaria

La cabra posee dos mamas, cada una con una papila mamaria o pezón, que en conjunto se denominan ubre. La leche es producida por unas células situadas en los alveolos, como se puede observar en la Figura 7, la cual se desplaza hasta la cisterna de la glándula mamaria a través de los conductos lactíferos. En el pezón se encuentra un esfínter que evita la salida de la leche y la entrada de agentes patógenos causantes de mastitis (Buxadé, 1996).

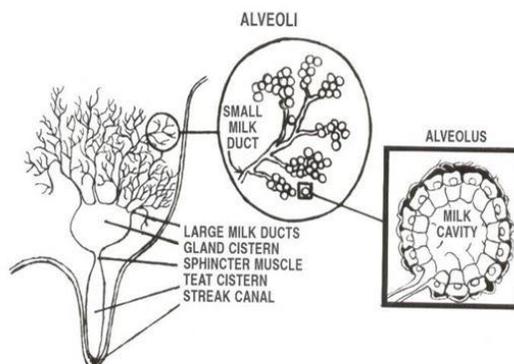


Figura 7. Dibujo esquemático de la mama de la cabra (www.dairynz.co.nz).

La morfología mamaria es un carácter importante desde el punto de vista económico,

puesto que la forma de la ubre debe facilitar su ordeño mecánico, y, además, debe ayudar a conferir al animal una larga vida útil.

Existen varios caracteres definidos para la producción de leche:

- **Inserción anterior de la ubre (IAU)**: Evalúa la fortaleza con la que la ubre se inserta en el abdomen. Lo ideal es una fuerte inserción (Figura 8).

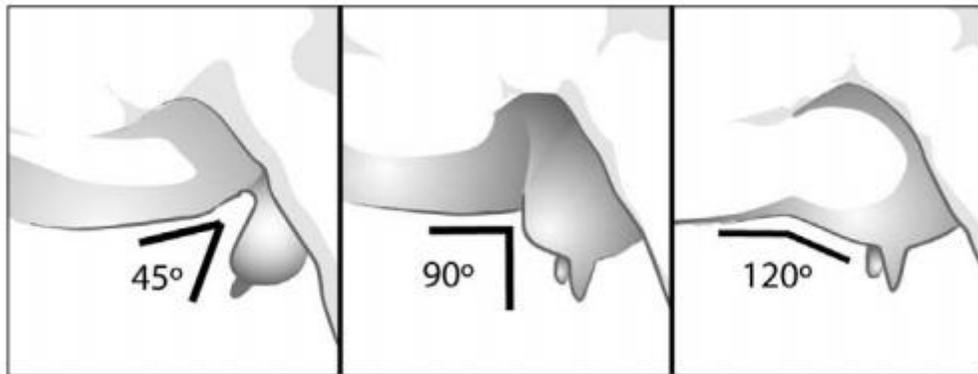


Figura 8. Esquema de diferentes inserciones de la ubre (MAGRAMA, 2012).

- **Altura inserción posterior de la ubre (AIP)**: Cuanto más pequeña sea la distancia entre el comienzo de la ubre y la vulva, mejor insertada estará y, también, la ubre tendrá una mayor capacidad.
- **Anchura inserción posterior de la ubre (APU)**: Se evalúa en función de la anchura de la ubre unos cinco centímetros por debajo del nacimiento de la inserción. Lo deseable es tener ubres con un arco muy abierto que determina una gran anchura (Figura 9).

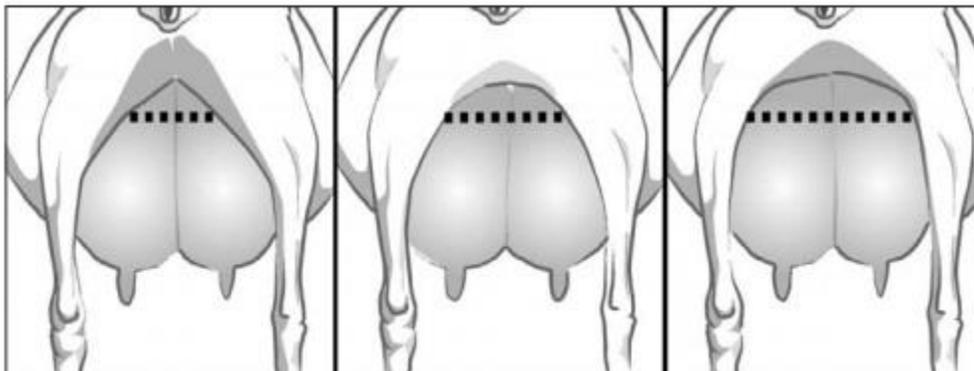


Figura 9. Esquema la anchura de inserción posterior de la ubre (MAGRAMA, 2012).

- **Ligamento suspensor medio (LSM):** Este ligamento es el soporte principal de la ubre, y, por eso, interesan ligamentos fuertes que sean capaces de mantener en su sitio ubres de gran producción, durante mucho tiempo. Tampoco debe ser excesivamente fuerte ya que disminuiría la capacidad de la ubre (Figura 10).

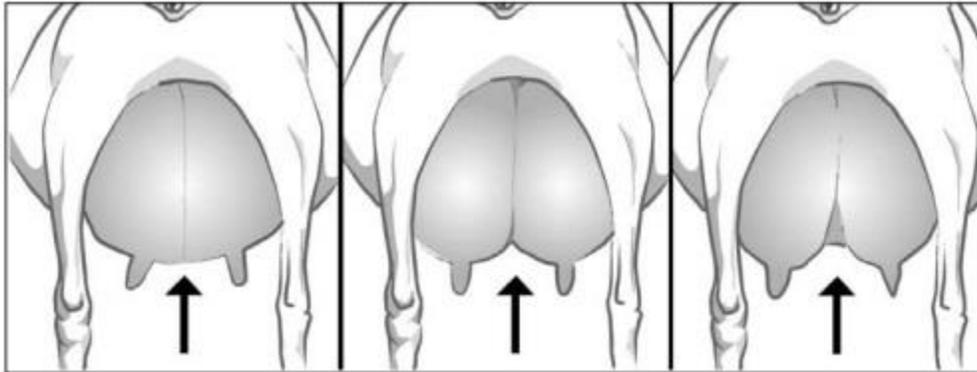


Figura 10. Esquema de varios tipos de ligamentos suspensores medios (MAGRAMA, 2012).

- **La profundidad de la ubre (PU):** En su evaluación se tiene en cuenta la distancia entre el suelo de la ubre y la punta de los corvejones. Lo deseable son ubres intermedias, con el suelo de la ubre aproximadamente a la altura de las puntas de los corvejones, dado que están protegidas, facilitan el ordeño y tienen suficiente capacidad (Figura 11).

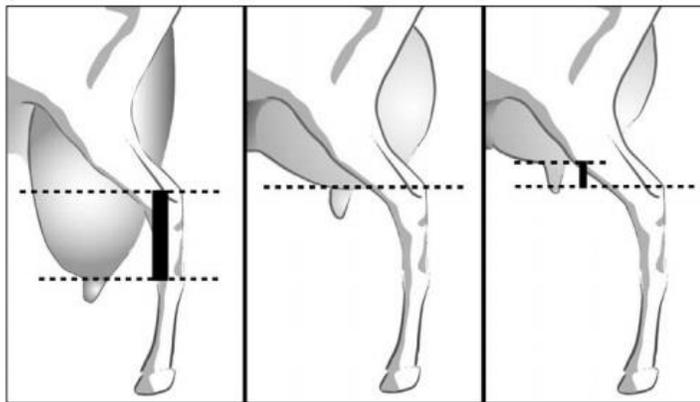


Figura 11. Esquema de distintas profundidades de ubres (MAGRAMA, 2012).

- **Implantación de pezones, vista posterior:** La colocación de los pezones es un carácter determinante para la facilidad de ordeño, de manera que lo ideal pasa por una colocación justo debajo de cada glándula ya que facilita el ordeño por gravedad.
- **Diámetro de los pezones (DP):** Se mide en la mitad de los mismos; este carácter es uno de los más destacados en cuanto a los pezones, ya que es el más determinante para un buen

ajuste de las pezoneras. Los pezones de diámetros intermedios son los mejores.

1.3. Componentes y funcionamiento de la máquina de ordeño

En la Figura 12 se puede observar el esquema de una instalación de ordeño, que permite agilizar el proceso de extracción de la leche y obtener una mayor calidad del producto.

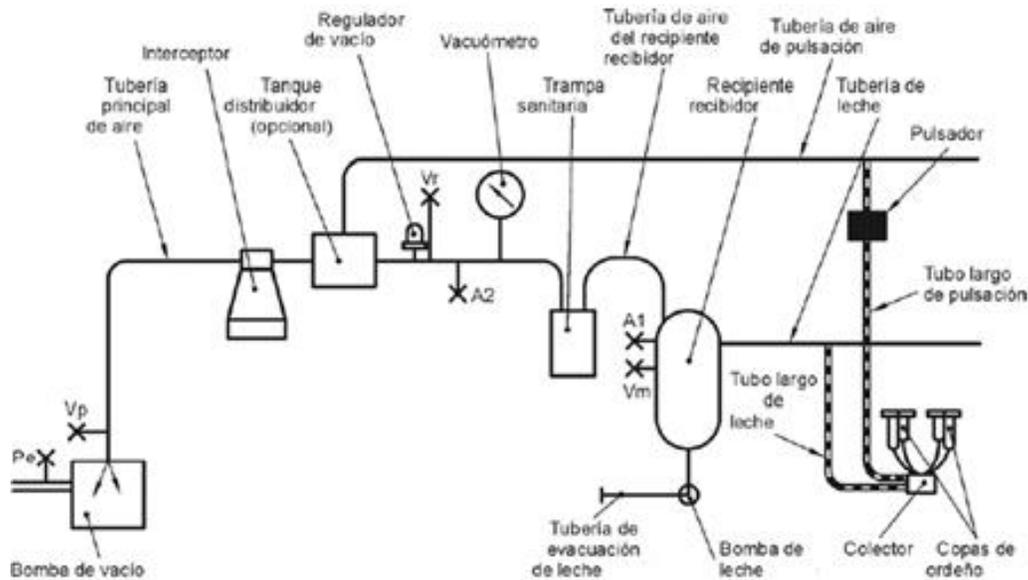


Figura 12. Esquema de una instalación de ordeño (MAGRAMA, 2010).

La máquina de ordeño debe cumplir cuatro funciones básicas:

- Extracción de la leche de la ubre: La leche se encuentra tanto a nivel cisternal como alveolar. La primera es más fácil de obtener, ya que con aplicación de vacío en el extremo del pezón provocamos la apertura del esfínter que comunica con la cisterna. La leche alveolar ha de ser liberada por el animal y en lo único que la máquina puede colaborar es facilitando el mecanismo neuroendocrino que provocará esta liberación. La hormona que provoca dicha liberación es la oxitocina.
- Trato no traumático del pezón: Un ordeño no adecuado puede dar lugar a un incremento del recuento de células somáticas, es decir una posible mastitis.
- Transporte de la leche ordeñada al tanque frigorífico: Una vez extraída la leche, ésta se transporta hasta el tanque frigorífico pasando por una serie de tuberías, bombas y filtros, que ayuden a alcanzar un alto nivel de calidad.
- Lavado de la instalación: Se compone de tres fases: enjuague, lavado con solución jabonosa

y aclarado final con agua fría.

Algunas definiciones de la máquina de ordeño son (UCO, 2002; Ferrer et al., 2007):

Máquina de ordeño (ordeñadora): instalación completa de ordeño mecánico que comprende los sistemas productores de vacío y pulsación, una o varias unidades de ordeño y otros componentes.

Unidad de ordeño o juego de ordeño: conjunto de componentes de una máquina de ordeño que son necesarios para ordeñar y que pueden repetirse en una instalación, con el fin de ordeñar simultáneamente varios animales. Dichos componentes son: dos o cuatro pezoneras, tubos cortos de ordeño, tubos cortos de pulsación y colector, tal y como se puede observar en la Figura 13.

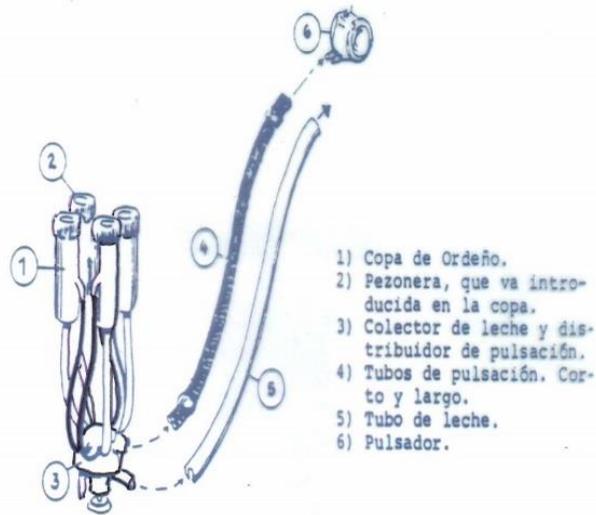


Figura 13. Esquema de un juego de ordeño (UCO, 2002).

Pezonera: conjunto que comprende una copa rígida y un manguito de ordeño.

Colector: pieza que reúne las pezoneras para formar un juego de ordeño y que las conecta al tubo largo de leche y al tubo largo de pulsación.

Tubos cortos de leche: Conectan el interior del manguito de ordeño con el colector, circulando la leche por su interior.

Tubos cortos de pulsación: conectan la cámara de pulsación con la boquilla de aire del colector; su misión es transmitir las variaciones de vacío a la cámara de pulsación.

Tubo largo de leche: conecta el colector a la conducción de leche.

Tubo largo de pulsación: conecta el pulsador con la boquilla de aire del colector para transmitir el vacío.

Parámetros de ordeño (UCO, 2002):

- **Nivel de vacío:** El vacío que llega hasta el pezón tiene varias funciones: abrir el esfínter, extraer la leche, evacuar la leche por la conducción, mantener las pezoneras fijas a los pezones y facilitar que la pulsación provoque el movimiento cíclico del manguito.

Sistema de vacío: Extrae el aire de la instalación para crear la depresión o vacío necesario para el ordeño y lavado de la instalación. Esta depresión la produce la bomba de vacío que suele funcionar constantemente al mismo régimen, por lo que es necesario intercalar un regulador de vacío. El regulador deja entrar el aire necesario para que el nivel de vacío no exceda el valor prefijado, medido en kPa.

El vacuómetro es un instrumento de medida de presión diferencial, que indica el nivel de vacío de la máquina de ordeño tomando como referencia la presión atmosférica.

- **Pulsación:** El sistema de pulsación corta el vacío que actúa bajo el pezón y da un masaje a espacios de tiempo regulares, de tal manera que las fases de vacío y masaje se alternan. Según Mein (1992), la función principal de la pulsación es limitar la congestión y el edema en los tejidos del pezón durante el ordeño mecánico.

Otras funciones son: estimular a la cabra provocando el mecanismo neuroendocrino de suelta de la leche alveolar, contrarrestar los efectos negativos de la congestión sobre el nivel de molestia o dolor experimentado por el animal, reducir la presencia de nuevas infecciones intramamarias, etc.

Velocidad de pulsación (VP): número de ciclos por minuto (ppm).

La relación de pulsación (RP): dentro de un ciclo, el porcentaje de tiempo que el manguito permanece en fase de ordeño respecto a la duración total del ciclo.

Se ha demostrado que una RP superior al 70% no es adecuada ya que aumentan las lesiones en los pezones y, por lo tanto, el riesgo de infecciones intramamarias (Díaz et al., 2014).

1.4. Aptitud al ordeño mecánico

1.4.1. Fraccionamiento de la leche en el ordeño

Existen diversos factores tanto extrínsecos como intrínsecos que afectan a la calidad y cantidad de la leche producida.

Los factores intrínsecos o propios del animal pueden ser de carácter genético como la raza, o no genéticos como la edad y el número de partos, el estado de lactación, el tipo de parto, la talla corporal, el ciclo estral y la preñez.

Los factores extrínsecos más destacables son la época de parto, las prácticas de ordeño (el

tipo de ordeño mecánico, el intervalo, la duración y la frecuencia de ordeño) y la alimentación.

Una de las medidas de evaluación más importantes del ordeño mecánico es el fraccionamiento de la leche. En esta medida importa conocer la cantidad obtenida en cada una de las fracciones descritas a continuación:

- Leche máquina (LM): Cantidad de leche obtenida desde la puesta de las pezoneras hasta que el flujo de leche se hace muy débil o cesa. Corresponde con la leche cisternal y parte de la leche alveolar.
- Leche de apurado a máquina (LAM): Cantidad de leche obtenida luego de un masaje vigoroso de la ubre con las pezoneras colocadas.
- Leche residual (LR): Cantidad de leche obtenida después del ordeño y tras una inyección de oxitocina.

Un ordeño será tanto mejor cuanto menor cantidad de LR quede en la ubre. Además, también es interesante que la LAM sea pequeña, ya que afecta a los rendimientos horarios de las salas.

$$\begin{aligned}\text{Leche obtenida (LO)} &= \text{LM} + \text{LAM} \\ \text{Leche total en la ubre (LTU)} &= \text{LO} + \text{LR}\end{aligned}$$

1.4.2. Cinética de emisión de la leche

La cinética de emisión de leche es otra técnica que permite evaluar la aptitud al ordeño mecánico de los animales, mediante la utilización de las curvas de emisión de leche obtenidas durante el ordeño a máquina. Éstas reflejan la cantidad y el flujo de leche extraída respecto a la duración del ordeño a máquina. Una adecuada curva de emisión debe señalar un ordeño rápido con un alto caudal de leche.

Las curvas de emisión son interesantes puesto que nos permiten comparar la gráfica de la cinética de emisión de un animal con las gráficas de otros animales, e incluso con las gráficas de las lactaciones anteriores del propio animal.

En el caso de la raza Murciano-Granadina, se han descrito cuatro tipos de curvas diferentes, tal y como se puede observar en la Figura 14.

Las distintas curvas manifiestan no solamente el nivel productivo de los animales sino también sus condiciones anatómicas y fisiológicas para la cesión de la leche en el ordeño.

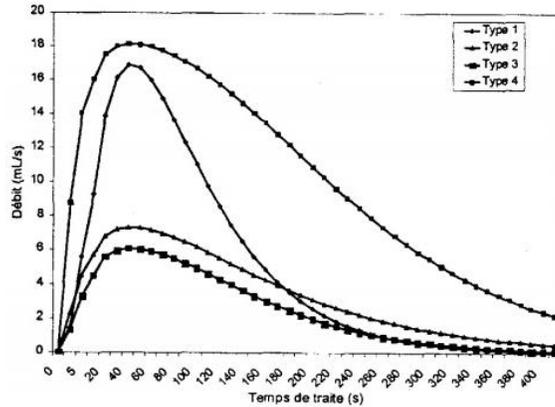


Figura 14. Representación de los cuatro tipos de curvas de emisión de la raza Murciano-Granadina (Garcés et al., 2000).

1.4.3. Factores fisiológicos

El reflejo neuro-endocrino de eyección de la leche fue descrito por Ely y Petersen en 1941, y se muestra un resumen en la Figura 15.

Se admite que la máquina de ordeño, la mano del ordeñador o la succión ejercida por la cría, dan lugar a flujos nerviosos que a través de los nervios mamarios y la médula espinal, llegan al hipotálamo y a la hipófisis. Ésta libera la oxitocina que, por vía sanguínea, va a provocar la contracción de células mioepiteliales y la evacuación de la leche contenida en los alveolos.

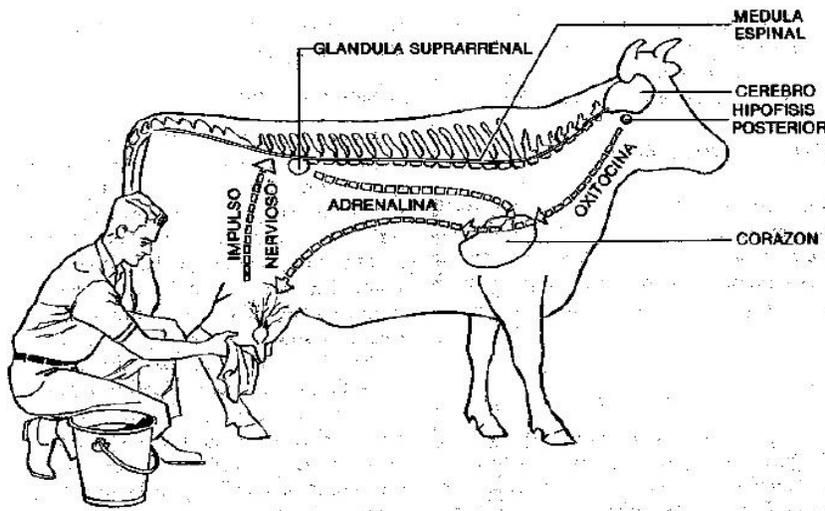


Figura 15. Principales mecanismos de eyección de la leche (Ely y Petersen, 1941).

1.4.4. Factores anatómicos

La mecanización del ordeño exige una buena configuración anatómica de la mama de las cabras lecheras, que sea compatible con la adaptación y el buen funcionamiento de las máquinas de ordeño.

Además de la conformación de las ubres, existen otros caracteres, ya descritos en el punto 1.2, que interfieren en una buena aptitud al ordeño, como pueden ser: la profundidad de la ubre, el ligamiento suspensor medio, el diámetro y ángulo de implantación de los pezones, etc. Así, por ejemplo, la fuerza del esfínter del pezón afecta al flujo y al tiempo del ordeño (Fernández et al., 2015).

1.5. Posibles efectos de la máquina de ordeño sobre el estado sanitario de la ubre y su detección

1.5.1. Recuento de células somáticas en la leche

La mayoría de las técnicas indirectas de diagnóstico de las mastitis se basan en la detección del incremento en el recuento de las células somáticas (RCS). Por ello, es importante conocer la naturaleza de los componentes celulares que participan en la secreción láctea caprina.

A diferencia de la leche de oveja o de vaca, la leche de cabra contiene una elevada cantidad de partículas (Contreras et al., 2008):

- Partículas citoplasmáticas: Durante el mecanismo de secreción, las células epiteliales pierden parte de su citoplasma aportando una gran cantidad de partículas citoplasmáticas a la leche. Estas partículas varían entre 5 y 30 micrómetros y contienen orgánulos procedentes del epitelio del que fueron originadas, pero en su mayoría carecen de ADN.
- Células inflamatorias: Tras la penetración de los agentes patógenos en la glándula mamaria, éstos se enfrentan a una defensa celular.
En la leche de cabra, los tipos celulares son: neutrófilos, macrófagos y linfocitos, además de un pequeño porcentaje de células epiteliales.
La respuesta celular se establece sobre todo en base a los neutrófilos. Así, tras la infección intramamaria por bacterias, se produce un incremento en los RCS sólo unas pocas horas después de la infección.

1.5.2. Efectos sobre el pezón.

Si no se ordeña en correctas condiciones pueden aumentar las lesiones o alteraciones en los tejidos del extremo del pezón, las cuales, a su vez, incrementarían el riesgo de que se establezcan infecciones intramamarias, dado que pueden verse afectados los mecanismos defensivos localizados a nivel del canal del pezón o los del carácter sistémico.

Los cambios en el estado del pezón pueden ser causados por tres grupos de factores o agentes: infecciosos, ordeño mecánico y otros factores ambientales. Aquí nos centraremos en las principales alteraciones del pezón provocadas por la máquina de ordeño. Para que se produzca una infección intramamaria los gérmenes deben alcanzar el extremo del pezón, atravesar su canal, establecerse sobre el tejido mamario y vencer los mecanismos defensivos sistémicos del animal.

Para elevar el riesgo de mamitis, las alteraciones del estado del pezón deberán provocar uno o varios de los siguientes efectos (Contreras et al., 2008):

- Aumentar el nivel de exposición del pezón a patógenos. Es decir, aumentando el número de bacterias en el extremo del pezón, se incrementa la incidencia de mamitis. Por este motivo es importante evitar las lesiones en la piel del pezón provocadas por la pezonera y desinfectar los pezones tras el ordeño.
- Disminuir la resistencia del canal del pezón a que los gérmenes puedan atravesarlo. Esta barrera se basa en aspectos físicos (dureza del esfínter y duración de apertura del orificio del pezón tras el ordeño) y químicos (cantidad, composición y renovación de la queratina producida en el canal del pezón).
- Alterar el medio intramamario. La existencia de traumas localizados en la mucosa del seno del pezón podría favorecer que las bacterias se multipliquen en estas áreas.

1.5.3. Congestión/edema del extremo del pezón

Uno de los aspectos más claros del ordeño mecánico es que si se aplica un insuficiente o inadecuado masaje sobre el pezón, aumentarán las lesiones o alteraciones en los tejidos del extremo del pezón, los cuales, a su vez, incrementarán el riesgo de que se establezcan infecciones intramamarias (Peris et al., 2004).

Durante el ordeño, el extremo del pezón se encuentra sometido a vacío, lo que tiende a provocar un deterioro circulatorio y una acumulación de fluidos intravasculares (congestión) y extravasculares (edema) en sus tejidos.

El masaje generado por la pulsación permite disminuir esta congestión y edema, ya que la carga compresiva que se produce sobre el extremo del pezón ayuda a re-evacuar los fluidos acumulados. Por ello, la valoración de la edematización del pezón tras el ordeño es un buen indicador de la idoneidad del material y de las condiciones del ordeño. Así, la evaluación del estado del pezón puede ser una herramienta útil para estimar el efecto de la rutina de ordeño sobre el estado sanitario del animal.

El estado del pezón puede valorarse, una vez acabado el ordeño, utilizando diferentes equipos instrumentales (métodos cuantitativos) o bien utilizando sistemas de clasificación basados en la comparación con fotografías, métodos de visualización y palpación del pezón, (métodos cualitativos) etc.

El ordeño mecánico puede producir cambios en el estado del pezón a corto, medio o largo plazo. A corto plazo, el ordeño puede producir cambios en el color, en el grado de apertura del

esfínter y en el espesor de sus paredes.

El cutímetro, tal y como se observa en la Figura 16, consiste en un par de placas, una fija y otra móvil, unidas por un muelle y conectadas a una escala calibrada con un dial en décimas de milímetros. Este aparato permite estimar de una forma rápida y eficaz la variación de la consistencia del tejido del pezón durante el ordeño.

Si la edematización del pezón tras el ordeño es muy elevada, el animal está en riesgo de contraer mamitis, una enfermedad de la ubre que reduce su vida útil.

El incremento de espesor se calcula con la siguiente fórmula:

$$\Delta (\%) = \frac{(\textit{lectura después del ordeño} - \textit{lectura antes del ordeño})}{\textit{lectura antes del ordeño}} \times 100$$



Figura 16. Fotografía de un cutímetro con lector electrónico (catálogo MTV Germany).

2. OBJETIVO

Existe la opinión generalizada, entre los usuarios de las máquinas de ordeño, de que el ordeño en cabras de raza Murciano-Granadina es excesivamente lento. En un primer trabajo orientativo, se demostró que la razón principal del bajo rendimiento horario de ordeño obtenido en la explotación de la Universitat Politècnica de Valencia era la fuerza del esfínter, y que la solución estaba en una modificación de los parámetros de ordeño.

El objetivo de este trabajo es comprobar los resultados de dos combinaciones de parámetros (42kPa:120ppm:60% vs 44kPa:120ppm:60%, para el nivel de vacío, la velocidad y la relación de pulsación, respectivamente) sobre el rendimiento horario de las salas de ordeño, atendiendo para ello a la producción y el fraccionamiento de la leche, su composición, la cinética de emisión de la leche y los efectos sobre el estado sanitario de la ubre. La temática de este trabajo estaría vinculada a “Características y diseño de maquinaria para instalaciones agrarias”, del documento “Recomendaciones para los TFG y TFM” de la ETSIAMN.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Este trabajo se ha llevado a cabo en la Universitat Politècnica de Valencia, más concretamente en el Departamento de Ciencia Animal (Figura 17).

3.1. Diseño experimental

Atendiendo a las normas de bienestar correspondientes con la experimentación animal (Real Decreto 1201/2005, Boletín oficial del Estado 252: 34367-34291), cuarenta y ocho cabras multíparas de la raza Murciano-Granadina ($45 \pm 0,3$ kg; media \pm ES), enfocadas a la producción láctea, han sido utilizadas en este trabajo.



Figura 17. Sala de ordeño tipo 2x12x6 utilizada en el experimento.

Tras el parto, todas las cabras fueron sometidas a ordeño mecánico con 42 kPa de vacío, 120 pulsaciones por minuto y 60% de relación de pulsación, durante un mes. Más tarde, se planteó el siguiente diseño (Figura 18):

El primer paso fue crear 2 lotes con distinto nivel de vacío (42 y 44 kPa) pero igual número de pulsaciones por minuto (120 ppm) y relación de pulsación (60%), a los que se adjudicaron al azar dos grupos de animales equilibrados en cuanto a su producción lechera, de 24 cabras cada uno.

LOTE 1:	42kPa/120ppm	} Relación de pulsación: 60%
LOTE 2:	44kPa/120ppm	

El lote 1 era el utilizado en el ordeño hasta la fecha, por lo que sirve de control, mientras que el lote 2 corresponde a combinaciones habitualmente utilizadas por las casas comerciales.

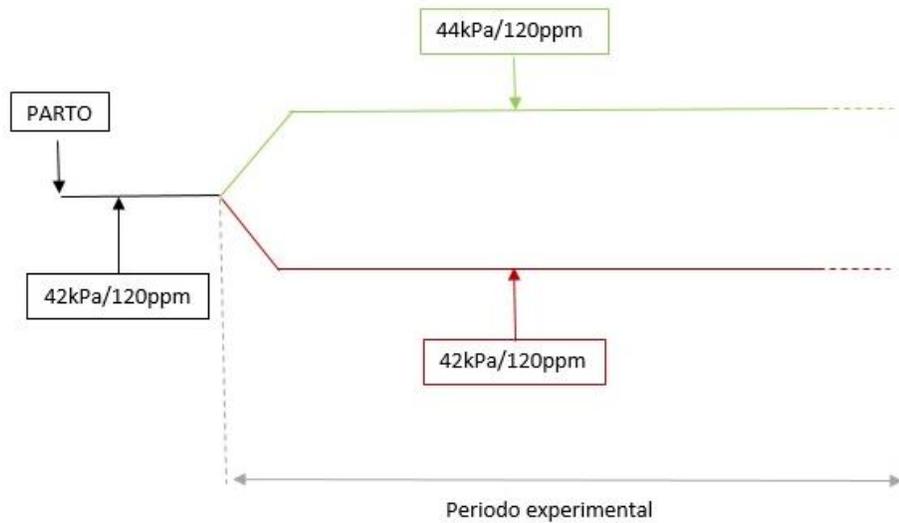


Figura 18. Esquema del diseño experimental de los lotes en el tiempo.

Las variables utilizadas para evaluar la bondad de las combinaciones de parámetros fueron:

1. Producción y fraccionamiento de la leche en el ordeño,
2. Análisis de la composición de la leche y el recuento de células somáticas,
3. Análisis de morfología de la ubre,
4. Análisis de la dureza del esfínter,
5. Control de la edematización de la punta del pezón,
6. Estudio de las curvas de cinética.

3.2. Calendario experimental

A lo largo del experimento se han realizado diferentes controles, que se han identificado en el tiempo como se puede observar en la Figura 19.

3.3. Base animal y alimentación

Las 48 cabras utilizadas en el experimento, procedentes de la granja del Departamento de Ciencia Animal, fueron divididas en dos lotes de 24 cabras de semejante nivel de producción láctea, y fueron adscritos aleatoriamente a los dos niveles de parámetros ensayados.

Todas las cabras recibieron la misma ración, ya sea en contenido o en cantidad, dos veces al día (a las 8h y a las 14h) y fueron alojadas en corrales semejantes (espacio=1,5 m²/cabra; comedero= 0,5m/cabra; 5 bebederos).

A continuación se va a presentar el cálculo de una ración dirigida a una cabra adulta en producción láctea. Las necesidades se han obtenido mediante ecuaciones algebraicas, utilizando la aplicación Excell-Solver, para indicar las cantidades de materia prima a utilizar en la ración, en función de las restricciones mínimas y máximas establecidas.

En la Tabla 3 se pueden observar unos valores medios de referencia de las cabras Murciano-Granadinas, los cuales han servido como base para elaborar la ración.

CABRA DE LECHE	
Peso vivo	45 Kg
Consumo	2,5 Kg MS / día
Producción de leche	3 Kg / día
Grasa leche	4,50%
Proteína leche	3,70%
Estado fisiológico	Lactante

Tabla 3. Condiciones medias de las cabras utilizadas (elaboración propia en base a FEDNA, 2009).

La ración tiene un coste aproximado de 0,231 €/kg, como se puede ver en la Tabla 4, y contiene una serie de materias primas habitualmente utilizadas para un rumiante en lactación. Teniendo en cuenta la localización geográfica, se intenta aprovechar al máximo los recursos locales para abaratar los costes. En este caso, al estar en Valencia, una buena elección es la pulpa de naranja, puesto que es una materia prima rica en fibra y, al haber excedente, barata.

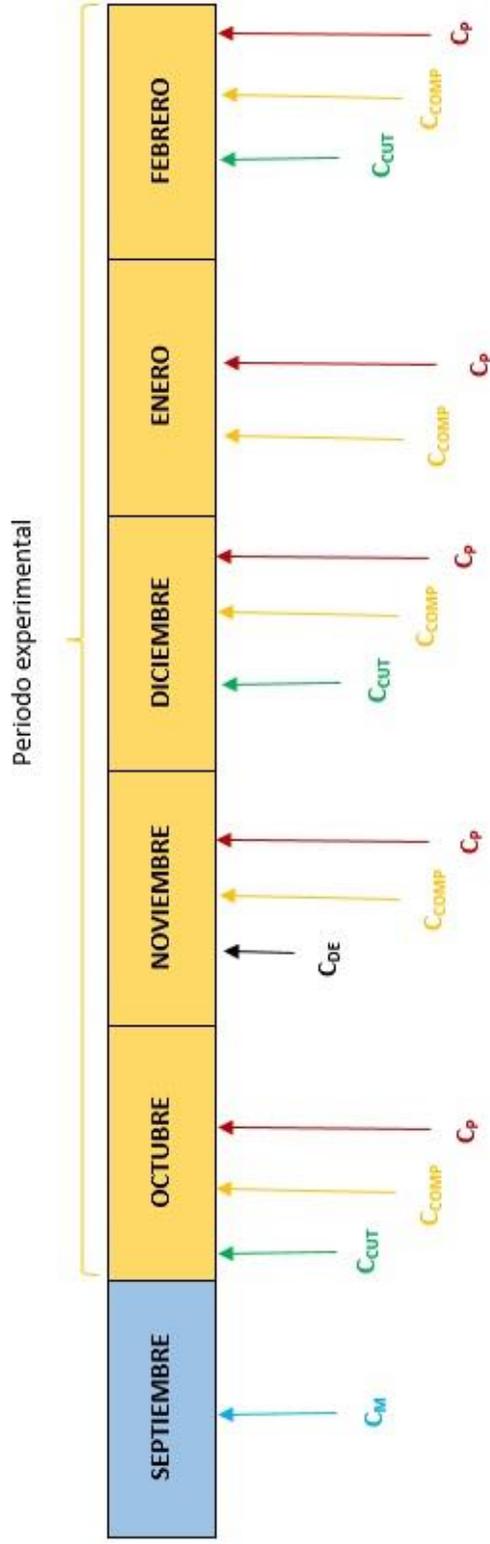


Figura 19. Calendario experimental

(C_P = Control de la producción (Leche Máquina, Leche Apurado a Máquina, Leche Total diaria y Leche Residual). C_{CUT} = Control de la edematización de la base del pezón. C_{COMP} = Control de la composición de la leche (RCS, grasa y proteína). C_{DE} = Control de la dureza del esfínter. C_M = Control de la morfología de la ubre).

MATERIAS PRIMAS	SOLUCIÓN (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)	UFI UF/kg	PB g /Kg	Lis g /Kg	M+C g /Kg	Ca g /Kg	P g /Kg	Precio €/T
Pulpa de naranja	4,00	4		0,92	101,00	75,00	3,00	9,80	1,10	35,00
Aceite de colza	1,00	1	5			2,84				400,00
Altramuz australiano	10,00	10	50	1,06	307,00	72,00	6,60	2,30	3,20	175,00
Sorgo blanco	20,00	2	20	1,11	87,00	54,00	3,10	0,20	3,00	200,00
Cebada 6 carreras	34,91	20		1,01	113,00	69,00	4,30	0,60	3,70	150,00
Harina soja 47	20,00	10	20	1,02	469,00	69,00	14,50	2,90	6,40	440,00
carbonato cálcico	0,95							380,00		60,00
fosfato bicálcico	9,15							240,00	180,00	241,00
Sal común	0,80	0,8	0,8							90,00
Corrector vit-olig	0,20	0,2	0,2							2410,00
PESO	100,00									
				UFL (UFL/kg)	PB (g/Kg)	Lis (g/Kg)	M+C(g/Kg)	Ca (g /Kg)	P (g /Kg)	
				1	160			27	20	
				Necesidades mínimas						Precio por ración (€/T)
				Necesidades máximas						231,4120189
				0,921358462	185,3846596	58,9140771	5,800991472	27	20	

Tabla 4. Ración tipo para cabras lactantes Murciano-Granadinas (elaboración propia en base a FEDNA, 2009).

3.4. Recogida de datos

3.4.1. Producción y fraccionamiento de la leche

Los controles de producción de leche se realizaron una vez por mes (los martes en el ordeño de la mañana) a lo largo de la lactación. El control pre-experimental fue realizado en el mes de septiembre. En cada control se anotaron los valores de leche obtenidos tras la puesta de pezoneras y hasta el cese del flujo (Leche Máquina, LM), y también los valores tras la realización del apurado de la ubre (Leche de Apurado a Máquina, LAM). El apurado a máquina supone la realización de un masaje vigoroso de la ubre, durante 15-20", antes de la retirada de las pezoneras. A continuación, se inyectaron a cada animal de 3 U.I. de oxitocina (Hormonipra; Laboratorios Hipra, S.A. Girona, España), por vía intravenosa, para obtener la Leche Residual (LR).

A la finalización del ordeño, los pezones se sumergían en yodo, utilizando los aplicadores que se observan en la Figura 20 (Proactive Plus. 0,15% iodina, 4% glicerina, 4% sorbitol, DeLaval, Drongen, Bélgica).



Figura 20. Aplicadores de Iodo.

3.4.2. Composición de la leche y RCS

Para comprobar el efecto de los parámetros de ordeño sobre las características de la leche producida, en cada control y para cada animal, se recogieron muestras de leche (50 ml), tanto de la leche total ordeñada (LT = LM+LAM) como de la LR, para el inmediato análisis de su composición, en grasa y proteína, y el recuento de células somáticas (RCS). Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio Interprofesional Lácteo de la Comuntat Valènciana (LICOVAL; Figura 21)), situado en la Universitat Politècnica de Valencia. La composición fue obtenida con un analizador de infrarrojos (MilkoScan FT6000 Foss Electric, Hillerød, Denmark), y el RCS por el método fluoro-opto-electronic (ISO, 2008; Fossomatic 5000, Foss Electric, Hillerød, Denmark).



Figura 21. Analizadores de composición y RCS en leche.

3.4.3. Morfología de la ubre

Las características de la ubre (longitud del pezón; anchura del pezón en su punto medio y en la base; ángulo de implantación visto desde atrás; ángulo de implantación lateral; distancia de la ubre al suelo) fueron medidos durante el periodo pre-experimental (Tabla 5), según Labussière (1983).

Parámetros (kPa:ppm)	L (mm)	AB (mm)	AM (mm)	ANP (°)	ANL (°)	Esfínter (kPa)	Distancia (mm)	Altura (mm)
42:120	62,9 ± 4	54,5 ± 4	37,9 ± 3	45,5 ± 4	44,5 ± 3	29,9 ± 1	185 ± 8	280 ± 2
44:120	63,1 ± 4	53,9 ± 4	37,5 ± 3	45,9 ± 5	45,6 ± 4	30,1 ± 1	183 ± 7	283 ± 3

Tabla 5. Morfología mamaria de los animales empleados (Media ± ES; Pezones: L= longitud; AB= anchura en la base; AM= anchura en el punto medio; ANP= ángulo posterior; ANL= ángulo lateral; Esfínter= dureza del esfínter; Distancia= distancia desde la base de la ubre al suelo; Altura= altura de la ubre).

3.4.4. Dureza del esfínter del pezón

Para determinar la dureza del esfínter del pezón se ha comprobado el nivel de vacío mínimo necesario para provocar la apertura de éste y así iniciar el flujo de la leche, en cada pezón y animal. El experimento se ha llevado a cabo con el empleo del vacuómetro digital que se puede observar en la Figura 22.

La metodología aplicada consistió en colocar las pezoneras en las ubres para empezar un ordeño rutinario, instalando en el tubo corto de leche, lo más pegado a la copa de ordeño, un vacuómetro digital (DVPM-01, de EXENDIS) que nos permita registrar el valor de vacío obtenido en el momento de la aparición de los primeros chorros de leche, vacío que era modificado desde la unidad de detección del regulador. Esta medida fue realizada en el segundo mes del periodo experimental.



Figura 22. Vacuómetro digital.

3.4.5. Edematización de la base del pezón

El posible edema del extremo del pezón creado por la máquina de ordeño fue estimado con un cutímetro (Figura 23; nº 33865; Haupner, D-42651 Solingen), midiendo los cambios de su espesor inmediatamente después del ordeño, según Hamann et al. (1996). La diferencia de espesor medido antes y después del ordeño refleja los cambios en la masa del tejido y en los fluidos del pezón (Hamann and Mein, 1990). El espesor del pezón fue definido como como la distancia (mm) entre las placas del cutímetro al aplicar una presión dada. El cutímetro tenía un muelle nuevo que ejercía una fuerza de 6,7 N (400 mm², 0,01675 N/mm²), similar a Díaz et al. (2013). Estos autores demostraron una alta correlación entre los métodos basados en ultrasonidos y el cutímetro para medir el edema del extremo del pezón tras el ordeño. Medidas del pezón antes y después del ordeño fueron realizadas y la diferencia entre los valores (mm = valor post-ordeño – valor pre-ordeño), en los meses 1, 3 y 5 del periodo experimental, para las dos combinaciones de parámetros y expresado en porcentaje respecto al valor pre-ordeño. Las medidas fueron tomadas por duplicado, según Isakson and Lind (1992).



Figura 23. Medición de la base del pezón utilizando un cutímetro electrónico.

3.4.6. Cinética de emisión de la leche

El ordeño se realizó diariamente en una sala tipo 2x12x6 (Figura 17), en la que hay un comedero con cornadiza autoblocante. La sala dispone de 6 medidores volumétricos fijos (Figura 24) de 3300 mL de capacidad y 6 medidores electrónicos de gran precisión (Figura 25).

Sería posible obtener las curvas de cinética de emisión de leche en los medidores volumétricos, con una hoja milimetrada y un cronómetro. Hoy en día, utilizando los medidores electrónicos se ahorra tiempo y se gana fiabilidad, por lo que fue éste el método utilizado en este experimento.

Por tanto, la cinética de emisión de leche fue utilizada para evaluar el efecto de las dos combinaciones de parámetros sobre el fraccionamiento de la leche en el ordeño, el flujo de leche y el tiempo de ordeño. Un medidor electrónico (LactoCorder®, Werkzeug Maschinen Apparatebaus, 2010) fue empleado. Se trata de un equipo portátil cuya función es estimar, mediante luz infrarroja, el flujo y la cantidad de leche que lo atraviesa cada dos segundos.



Figura 24. Medidor volumétrico. **Figura 25.** Medidor electrónico LactoCorder®.

Las variables medidas, entre otras, fueron las siguientes:

- **Latencia:** Tiempo que transcurre entre la puesta de pezoneras y la llegada de los primeros chorros de leche al sistema de lectura del medidor electrónico.
- **Leche máquina (LM):** Volumen de leche registrado desde la puesta de las pezoneras hasta que el cese del flujo de leche previo al masaje.
- **Leche apurado máquina (LAM):** Volumen de leche registrado tras la LM, consecuencia de la

intervención del operador que masajea las ubres hasta el cese del flujo de leche.

- **Leche total de ordeño:** Volumen total de leche registrado desde la puesta de las pezoneras hasta el cese del flujo de leche tras el masaje (LM + LAM).
- **Flujo a los 60 segundos (F_{60}):** Flujo medio registrado por el medidor electrónico cada 2 segundos durante el primer minuto, desde la detección de los primeros chorros de leche.
- **Flujo medio de la LM (FMLM):** Flujo medio registrado por el medidor electrónico cada 2 segundos en el periodo que corresponde a la LM.
- **Flujo máximo (FMax):** Flujo máximo registrado por el medidor electrónico.
- **Tiempo del FMax (TFMax):** Tiempo transcurrido desde la detección de los primeros chorros de leche en el medidor hasta alcanzar el FMax.
- **Tiempo final de la LM (TLM):** Tiempo transcurrido desde la detección de los primeros chorros de leche en el medidor hasta el final de la LM.
- **Tiempo total de ordeño (TTO):** Tiempo transcurrido desde la puesta de las pezoneras hasta el final de la LAM.
- **Conductividad máxima (Cmax):** Conductividad máxima registrada en la leche ordeñada.
- **Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$):** Temperatura máxima registrada en la leche ordeñada.

El tipo de curvas de cinética que se puede obtener del medidor electrónico LactoCorder® se muestran en las Figuras 26 y 27. Observándolas, es posible apreciar si un animal tiene una buena cesión de leche en el ordeño. Lo ideal es que produzca la mayor cantidad de leche en el menor tiempo posible, lo que se refleja por una curva corta con un gran pico inicial (Figura 26). En el caso contrario, la curva sería más bien plana y larga, lo que quiere decir que el ordeño se alarga demasiado en el tiempo, pese a que la producción sea buena (Figura 27).

La línea discontinua muestra cuando acaba la LM y, por lo tanto, empieza la LAM.

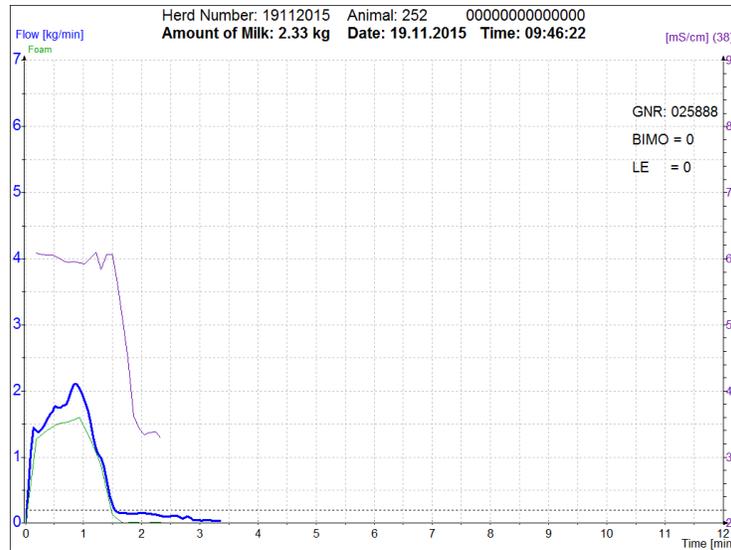


Figura 26. Curva de cinética, obtenida del medidor electrónico LactoCorder®, de una cabra cuyo flujo de leche es muy bueno.

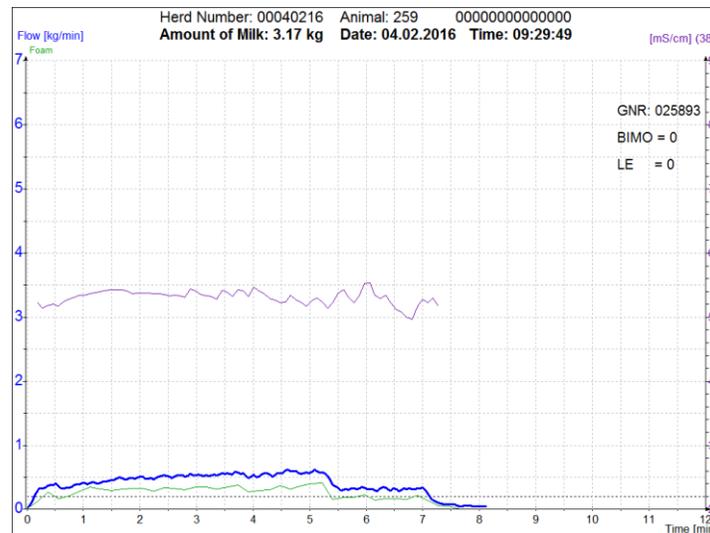


Figura 27. Curva de cinética, obtenida del medidor electrónico LactoCorder®, de una cabra cuyo flujo de leche no es deseable.

3.5. Análisis estadístico

Para las variables de producción, fraccionamiento y composición de la leche, edema en el extremo del pezón y cinética de emisión de leche, se utilizó el siguiente análisis de varianza de medidas repetidas:

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + E_j + A_k(P_i) + (P_i \times E_j) + \varepsilon_{ijk}$$

donde

- Y_{ijk} = variable dependiente,
- μ = media,
- P_i = efecto fijo de la combinación de parámetros de ordeño,
- E_j = efecto fijo del estado de lactación,
- $A_{k(i)}$ = efecto aleatorio del animal jerarquizado al parámetro de ordeño,
- $(P \times E)_{ij}$ = interacción parámetros de ordeño por estado de lactación,
- ϵ_{ijk} = error residual.

Cuando la interacción fue no significativa, ésta fue integrada en el error.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

Los resultados del análisis de medidas repetidas realizado sobre las variables de producción y fraccionamiento de la leche en el ordeño (Tablas 6 y 7), muestran que los parámetros de ordeño presentaron un P-valor superior al considerado como mínimo para la existencia de diferencias significativas (0,05) para todas las variables ensayadas, mientras que para el estado de lactación ocurría todo lo contrario, excepto para la LR. Además, la interacción parámetros de ordeño por estado de lactación no fue significativa en ningún caso.

Variable	Parámetros de ordeño (42:120 vs 44:120)	Estado de lactación	Parámetros x Estado de lactación
PT	0,055	<0,0001	0,131
LM	0,067	<0,0001	0,123
LAM	0,647	0,024	0,564
LR	0,129	0,767	0,725
LMPOR	0,764	<0,0001	0,094
LAMPOR	0,932	0,0006	0,263
LRPOR	0,515	0,027	0,674

Tabla 6. P-valores asociados a los efectos estudiados en el ANOVA de medidas repetidas para las variables productivas y del fraccionamiento de la leche en el ordeño (LM= leche máquina; LAM= lecha apurado máquina; LR= leche residual; LMPOR= porcentaje de la leche máquina; LAMPOR= porcentaje de la leche de apurado a máquina; LRPOR= porcentaje de la leche residual; PT= producción total leche día).

Parámetros de ordeño	Variable						
	LM (ml)	LAM (lm)	LR (ml)	LMPOR (%)	LAMPOR (%)	LRPOR (%)	PT
42:120	2002,8 ± 70,2	188,1 ± 18,1	247 ± 45,8	91,4 ± 0,7	8,9 ± 0,8	11,3 ± 2	2197 ± 74,3
44:120	2188,8 ± 70,2	200 ± 18,1	314 ± 45,8	91,7 ± 0,7	9 ± 0,8	13,1 ± 2	2403 ± 74,3

Tabla 7. Valores medios (medias ± ES) de las variables productivas y del fraccionamiento de la leche en el ordeño en cada uno de los niveles de parámetros de ordeño estudiados (LM= leche máquina; LAM= lecha apurado máquina; LR= leche residual; LMPOR= porcentaje de la leche máquina; LAMPOR= porcentaje de la leche de apurado a máquina; LRPOR= porcentaje de la leche residual; PT= producción total leche día).

Los resultados del análisis de medidas repetidas realizado sobre las variables de composición y recuento de células somáticas en leche (Tablas 8 y 9), muestran que los parámetros de ordeño tampoco afectaron significativamente a ninguna de las variables ensayadas, mientras que el estado de lactación sí lo hizo para todas. Por otro lado, la interacción parámetros de ordeño por estado de lactación no fue significativa en ningún caso.

Variable	Parámetros de ordeño (42:120 vs 44:120)	Estado de lactación	Parámetros x Estado de lactación
Grasa	0,743	<0,0001	0,456
Proteína	0,508	<0,0001	0,659
LogRCS	0,407	<0,0001	0,826

Tabla 8. P-valores asociados a los efectos estudiados en el ANOVA de medidas repetidas para las variables de composición y del recuento de células somáticas en leche.

Parámetros de ordeño	Composición (%)		LogRCS
	Grasa	Proteína	
42:120	5,022 ± 0,099	3,487 ± 0,061	5,740 ± 0,079
44:120	5,069 ± 0,099	3,545 ± 0,061	5,647 ± 0,079

Tabla 9. Valores medios (medias ± ES) de la composición y el recuento de células somáticas en leche en cada uno de los niveles de parámetros de ordeño estudiados.

De igual modo, los resultados del análisis de medidas repetidas realizado sobre el valor absoluto del espesor del pezón antes y después del ordeño, y al porcentaje de variación de dicho espesor (Tablas 10 y 11), muestran que los parámetros de ordeño no afectaron significativamente a ninguna de las variables ensayadas, mientras que el estado de lactación sí lo hizo para todas excepto para las citadas variaciones. La interacción parámetros de ordeño por estado de lactación no fue significativa en ningún caso. La repetición de los análisis con los valores medios del espesor de ambos pezones del mismo animal y sus respectivas variaciones arrojaron el mismo resultado.

Variable	Parámetros de ordeño (42:120 vs 44:120)	Estado de lactación	Parámetros x Estado de lactación
AD	0,407	0,0002	0,163
AI	0,936	<0,0001	0,181
DD	0.918	0.012	0.501
DI	0,471	0,041	0,853
VDE	0,227	0,934	0,074
VIZ	0,205	0,188	0,197

Tabla 10. P-valores asociados a los efectos estudiados en el ANOVA de medidas repetidas para el espesor del tejido en la punta del pezón antes y después del ordeño (AD= antes de ordeño, pezón derecho; AI= antes de ordeño, pezón izquierdo; DD= después de ordeño, pezón derecho; DI= después de ordeño, pezón derecho; VDE= variación de espesor, pezón derecho; VIZ= variación espesor, pezón izquierdo).

Parámetros de ordeño	Variable					
	AD (mm)	AI (mm)	DD (mm)	DI (mm)	VDE	VIZ
42:120	4,408 ± 0,096	4,364 ± 0,101	3.543 ±0.106	4,530 ± 0,108	3,374 ± 1,44	4,134 ± 1,76
44:120	4,293 ± 0,0966	4,352 ± 0,101	4.527 ±0.106	4,641 ± 0,108	5,881 ± 1,44	7,339 ± 1,76

Tabla 11. Valores medios (medias ± ES) del espesor de los tejidos del pezón antes y después del ordeño en cada uno de los niveles de parámetros de ordeño estudiados (AD= antes de ordeño, pezón derecho; AI= antes de ordeño, pezón izquierdo; DD= después de ordeño, pezón derecho; DI= después de ordeño, pezón derecho; VDE= variación de espesor, pezón derecho; VIZ= variación de espesor, pezón izquierdo).

Los resultados del análisis de medidas repetidas realizado sobre las variables de la cinética de

emisión de leche (Tablas 12 y 13), muestran que los parámetros de ordeño solamente afectaron significativamente a la latencia, a la conductividad máxima y a la temperatura de la leche, mientras que el estado de lactación sí lo hizo a todas las variables excepto la conductividad máxima de la leche. La interacción parámetros de ordeño por estado de lactación no fue significativa en ningún caso.

Variable	Parámetros de ordeño (42:120 vs 44:120)	Estado de lactación	Parámetros x Estado de lactación
Latencia (min)	0,028	0,002	0,063
Flujo Medio Leche Máquina (kg/min)	0,377	0,003	0,188
Flujo Máximo (kg/min)	0.439	<0.0001	0.180
Tiempo total de ordeño (min)	0,688	0,020	0,665
Conductividad Máxima (mS/cm)	0,022	0,060	0,941
Temperatura leche (°C)	0,009	<0,0001	0,124

Tabla 12. P-valores asociados a los efectos estudiados en el ANOVA de medidas repetidas para algunas de las variables de cinética de emisión de leche estudiadas (Latencia= tiempo que transcurre entre la puesta de pezoneras y la llegada de los primeros chorros de leche al sistema de lectura).

Parámetros de ordeño	Variable					
	Latencia (min)	FMLM (kg/min)	Flujo Máximo (kg/min)	TTO (min)	Cmax (mS/cm)	T (°C)
42:120	0,35 ± 0,02 ^a	0,66 ± 0,04	0,99 ± 0,06	4,07 ± 0,21	5,97 ± 0,09 ^a	33,6 ± 0,23 ^a
44:120	0,28 ± 0,02 ^b	0,71 ± 0,04	1,06 ± 0,06	3,95 ± 0,20	6,29 ± 0,09 ^b	34,4 ± 0,23 ^b

Tabla 13. Valores medios (medias ± ES) de algunas de las variables de cinética de emisión estudiadas (Latencia= tiempo que transcurre entre la puesta de pezoneras y la llegada de los primeros chorros de leche al sistema de lectura; FMLM= Flujo medio de la leche de máquina; TTO= Tiempo total de ordeño; Cmax= Conductividad máxima de la leche; T= Temperatura de la leche).

Por otro lado, ninguna de las variables de producción, composición, RCS, del espesor del pezón o sus variaciones antes y después del ordeño o la cinética de emisión de leche se correlacionó significativamente con la fuerza del esfínter del pezón, excepto las explicitadas en la Tabla 14.

Variable					
LT1	FLM	FMÁX	TFMÁX	TLM	TTO
-0,516	-0,535	-0,521	0,618	0,600	0,522
P < 0,009	P < 0,007	P < 0,009	P < 0,001	P < 0,002	P < 0,009

Tabla 14. Correlación y P-valor de la fuerza del esfínter con algunas variables de la cinética de emisión de leche (LT1= leche total en el primer minuto; FLM= Flujo medio de la leche máquina; FMÁX= Flujo máximo; TFMÁX= Tiempo para la aparición del flujo máximo; TLM= Tiempo de duración de emisión de la leche máquina; TTO= Tiempo total de ordeño).

4.2. Discusión

El hecho de que el estado de lactación haya resultado estadísticamente significativo sobre la mayor parte de las variables estudiadas de producción y composición parece lógico, dado que al avanzar el estado de lactación la producción de leche descende y la composición de la leche asciende, tanto en ganado ovino (Requena et al., 2010) como en ganado caprino (Delgado-Pertíñez et al., 2009).

En cuanto a la aptitud al ordeño mecánico, bajo el criterio del fraccionamiento de la leche en el ordeño, unos valores, en porcentaje, cercanos al 91:9 para la LM:LAM, respectivamente, parecen indicar una buena aptitud y condiciones de ordeño, dado que son mejores que los de Peris et al. (1999), en la misma raza (83:17), y que los de Caja et al. (1999), en la raza caprina Tinerfeña (80:20).

Existe una tendencia, aunque estadísticamente no significativa, a que para la combinación de parámetros de ordeño con mayor nivel de vacío (44 kPa) se produzca una mayor edematización del extremo del pezón tras el ordeño (> 5%), aunque este hecho no ha conllevado un mayor número de células somáticas en leche. Zecconi et al. (1992) indican que las variaciones bruscas del espesor del pezón tras el ordeño (bien > 5% o bien < 5%, que indican un edema o una carga compresiva del manguito excesivos), conllevan situaciones de riesgo para el establecimiento de una infección intramamaria en ganado vacuno. Por otro lado, Neijenhuis et al. (2001) observaron, en ganado vacuno, que el pezón no recupera su estado espesor inicial hasta transcurridas seis horas después de finalizado el ordeño. Cuando el nivel de edematización es alto, algunas sustancias de elevado peso molecular, como la albúmina, pueden exudar de los capilares requiriéndose más tiempo para su eliminación.

Estos hechos parecen indicar que, dado que, en este trabajo, el intervalo entre ordeños es de 24 h, los tejidos del pezón tienen tiempo suficiente para regenerarse y volver a una situación de normalidad antes del ordeño siguiente. Por ello, los resultados de este trabajo podrían ser válidos para una situación de uno ordeño diario pero no, necesariamente, para dos ordeños diarios, debido

a la posibilidad de que con un intervalo entre ordeños de 12 h, o incluso menor en el caso de intervalos entre la mañana y la tarde fueran diferentes, esa regeneración no tuviera lugar de manera completa al comienzo de alguno de los ordeños.

La elevación del nivel de vacío a 44 kPa tiende a mejorar los flujos de leche y el tiempo total de ordeño pero no de manera significativa, excepto el tiempo de latencia, es decir no consigue alcanzar el objetivo del trabajo que pretendía reducir significativamente el tiempo total de ordeño. Hay que tener en cuenta que la dureza media del esfínter de los pezones de las cabras utilizadas era próxima a 30 kPa, por lo que un vacío de ordeño de 42 kPa, con una velocidad de pulsación de 120 ppm y una relación de pulsación del 60%, parece suficiente para la realización de un ordeño eficiente y rápido. Además, el hecho de que la conductividad y la temperatura máxima de la leche de las cabras del grupo de 44 kPa hayan sido mayor, parece conducir a la misma conclusión desde el punto de vista del mantenimiento del estado sanitario de la ubre. La conductividad y la temperatura de la leche son dos parámetros habitualmente utilizados para evaluar la existencia de mamitis (Mein et al., 2004; Norberg and Korsgaard, 2004), de manera que valores más elevados pueden estar asociados a un peor estado sanitario de la ubre.

5. CONCLUSIONES

Para la práctica totalidad de variables relacionadas con la producción de leche, el fraccionamiento de la leche en el ordeño, la composición de la leche, el recuento de células somáticas, la variación del espesor de los tejidos tras el ordeño y la cinética de emisión de leche, la elevación del nivel de vacío de 42 a 44 kPa, con 120 ppm de velocidad de pulsación y 60% de relación de pulsación en ambos casos, no han sufrido ninguna modificación estadísticamente significativa. Junto a esa falta de aportación positiva a la aptitud y velocidad de ordeño, el hecho de haber observado una tendencia a un mayor edema de los tejidos tras el ordeño y una mayor conductividad y temperatura en la leche de las cabras ordeñadas con 44 kPa conducen a recomendar el nivel de vacío de 42 kPa, en las condiciones de ordeño de este trabajo.

6. BIBLIOGRAFÍA

Buxadé C. 1996. Zootecnia. Bases de producción animal. Tomo IX. Producción caprina. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

Caja G., Capote J., López J.L., Peris S., Such X., Argüello A. 1999. Milk partitioning and milk flow rate of Canarian dairy goats under once daily or twice daily milking frequencies. Páginas 274-280 en *Milking and Milk Production of Dairy Sheep and Goats*. F. Barillet and N.P. Zervas, ed. EAAP Publication Nº 95. Wageningen Pers, Wageningen, the Netherlands.

Contreras A., Martín A.G., Amores J., Fé C., Corrales J.C. 2008. Mamitis y células somáticas en cabras lecheras. Páginas 215-228 en *Congreso Brasileño de calidad de la leche*. Rio de Janeiro, Brasil.

Contreras A., Sierra D., Corrales J.C., Sánchez A., Gonzalo C. 1998. Diagnóstico indirecto de las mamitis caprinas. *Ovis*. Mamitis caprina II, 54:25-36.

Delgado-Pertiñez M., Guzmán-Guerrero J.L., Caravaca F.P., Castel J.M., Ruiz F.A., González-Redondo P., Alcalde M.J. 2009. Effect of artificial vs. natural rearing on milk yield, kid growth and cost in Payoya autochthonous dairy goats. *Small Ruminant Research*, 84:108-115.

Díaz J.R., Alejandro M., Peris C., Fernández N. 2013. Use of ultrasound scanning to estimate Wall thickness in Murciano-Granadina goats. *Livest. Sci.*, 155:114-122.

Díaz J.R., Peris C., Romero G. 2014. Efecto del ordeño mecánico en el estado sanitario de la ubre. XXXIX Congreso nacional. SEOC. Málaga.

Ely, F. and Petersen W. E. 1941. Factors involved in the ejection of milk. *J. Dairy Sci.*, 24:211- 223.

EUROSTAT, 2010: www.uco.es Visitada en Octubre, Noviembre 2015.

FAO, 2009: www.fao.org Visitada en Octubre 2015, Enero, Febrero 2016.

FAO, 2013. www.fao.org Visitada en Enero, Febrero 2016.

FEDNA, 2009. Necesidades nutricionales para rumiantes: Rumiantes de leche. Edición FEDNA. Madrid.

Fernández N., Martínez A., Martí J.V., Rodríguez M., Peris C. 2015. Milkability and milking efficiency improvement in Murciano-granadina breed goats. *Small Ruminant Research*, 126:68-72.

Ferrer J., Fernández N., Ponce De León J.L. 2007. Cálculo de instalaciones de ordeño mecánico para ganado vacuno, ovino y caprino. Ed. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Madrid.

Garcés G., Rubert-Alemán J., Fernández C., Díaz J.R. Sánchez A. Muelas R. 2000. Caractérisation de la cinétique d'émission du lait de chèvre Murciano-Granadina. *Renc. Rech. Ruminants*, 7: 314.

Hamann J., Mein G.A. 1990. Measurement of machine-induced changes in thickness of the bovine teat. *J. Dairy Res.*, 57:495-505.

Hamann J., Mein G.A., Nipp B. 1996. Recommended method for measuring changes in thickness of

- the bovine teat with spring-loaded calipers. *J. Dairy Res.*, 63:309-313.
- Isaksson A., Lind O. 1992. Teat reactions in cows associated with machine milking. *J. Vet. Med.*, 39:282-288.
- Labussière J. 1983. *Physiologie de la lactation et problèmes posés par la traite*. École Nationale Supérieure Agronomique de Rennes. Rennes.
- MAGRAMA, 2009: www.magrama.gob.es Visitada en Octubre, Diciembre 2015, Enero, Febrero 2016.
- MAGRAMA, 2010: www.magrama.gob.es Visitada en Noviembre, Diciembre 2015, Enero 2016.
- MAGRAMA, 2012: www.magrama.gob.es Visitada en Octubre, Noviembre, Diciembre 2015, Enero, Febrero 2016.
- MAGRAMA, 2013: www.magrama.gob.es Visitada en Diciembre 2015, Enero, Febrero 2016.
- MARM, 2008: www.uco.es Visitada en Octubre, Noviembre 2015.
- Mein G.A. 1992. Action of the cluster during milking. Páginas 99-140 In: Bramley A.J., Dodd F.H., Mein G.A., Bramley J.A. (Eds.) *Machine Milking and Lactation*. Insight Books, Berks, UK.
- Mein G.A., Sherlock R.A., Claycomb R.W. 2004. Making sense of in-line sensing for milk conductivity. Páginas 252-253 en *Automatic Milking*. Ed. Meijering A., Hogeveen H., de Konig C.J.A.M. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands.
- Neijenhuis F., Mein G.A., Britt J.S., Reinemann D.J., Hillerton J.E., Farnsworth R., Baines J.R., Hemling T., Ohnstad I., Cook N., Morgan W.F., Timms L. 2001. Evaluation of bovine teat condition in comercial dairy herds: 4. Relationship between teat end callosity or hyperkeratosis and mastitis. Páginas 362-366, en *AABP-NMC II International Symposium on Mastitis and Milk Quality*. St. Louis, USA.
- Norberg E., Korsgaard I.R. 2004. Electrical conductivity of milk as an indicator trait for mastitis. Páginas 254-255 en *Automatic Milking*. Ed. Meijering A., Hogeveen H., de Konig C.J.A.M. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands.
- Peris C., Díaz J.R., Fernández N., Mehedid M.A., Manzur A. 2004. Estado del pezón y riesgo de mamitis. *Bovis*, 118:61-64.
- Peris S., Such X., Caja G. 1999. Machine milkability of Murciano-Granadina dairy goats. Páginas 59-64 en *Milking and Milk Production of Dairy Sheep and Goats*. F. Barillet and N.P. Zervas, ed. EAAP Publication Nº 95. Wageningen Pers, Wageningen, the Netherlands.
- Requena R., Balasch S., Peris C., Rodríguez M., Fernández N. 2010. Dose response of lactating dairy ewes during suckling and milking to bovine somatotropin. *J. Dairy Sci.*, 88:3136-3144.
- UCO, 2002: www.uco.es Visitada en Diciembre 2015, Enero, Febrero 2016.
- Zecconi A., Hamann J., Bronzo V., Ruffo G. 1992. Machine induced teat tissue reactions and infection risk in a dairy herd from contagious mastitis. *J. Dairy Res.*, 59:265-271.

www.dairynz.co.nz Visitada en Noviembre 2015.