

**Universitat Autònoma de Barcelona**



**Evaluación de la estructura interna de la ubre mediante  
ecografía y efectos de la frecuencia de ordeño en vacas  
lecheras**

*Evaluation of internal structure of the udder by  
ultrasonography and effects of milking frequency in dairy  
cows*

**TESIS DOCTORAL**

**MOEZ AYADI**

**Barcelona, diciembre de 2003**

**DEPARTAMENT DE CIENCIA ANIMAL I DELS ALIMENTS  
UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA**

**Evaluación de la estructura interna de la ubre mediante ecografía  
y efectos de la frecuencia de ordeño en vacas lecheras**

*Evaluation of internal structure of the udder by ultrasonography  
and effects of milking frequency in dairy cows*

Tesis Doctoral presentada por Moez Ayadi, bajo la dirección del Doctor Gerardo Caja López del Departament de Ciència Animal i dels Aliments de la Universitat Autònoma de Barcelona, para optar al grado de Doctor.

Bellaterra, 26 de septiembre de 2003.

Vº Bº

Dr. Gerardo Caja López

## **A la memoria de mi padre**

Hombre inolvidable y padre maravilloso....., espero que este modesto trabajo sirva como testimonio de mi más sincera gratitud y reconocimiento por todo tu sacrificio y esfuerzo realizado tanto para mi como para nuestra familia.....

*Rahimahou Allah*

## DEDICACIONES

A mi madre, a quien le debo todo mis estudios y formación, lo deseo de todo mi corazón muchas salud y una larga vida.

A mis hermanos Khalil y Khaled, mi hermana Rim y su esposo Zakaria y a mi hermana pequeña Najoua, a quien le deseo mucho éxito en sus estudios, sin olvidar a mis sobrinas Chaima y Aya.

A toda la familia AYADI y GHARIANI

A mi tía Zeineb y mis primos Omar y Slim por todo el apoyo y el afecto durante mi estancia fuera de Túnez, por supuesto sin olvidar mi amigo de la infancia Samir Gasmi.

A Islem Abid por el cariño, el apoyo y la paciencia durante este periodo.

A todos mis amigos, por los buenos e inolvidable momentos compartidos juntos en España especialmente: Ahmed, Habib, Karima, Rachid, Ramzi, Emna, Amine, Nadhem, Mourad, Boubaker, Imed, Ghizlen, Dalia, Lamia, Maristela, Maria del Mar, Manuel, Rosa, Jordi, Betlem, Panzano, Jorge, Carolina, Aziz, Nabil, Meriam, Majed, Marc Xifra y especialmente a Ajmi y Mehrez por su amistad incondicional.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero dar mi más sincero agradecimiento y reconocimiento a todos aquellos que me han ayudado en mayor o menor medida para acabar en buen termino este trabajo, en particular:

A mi director de Tesis el Dr. Gerardo Caja, por darme la oportunidad de realizar este trabajo y por introducirme en el campo de la fisiología de la lactación de los rumiantes, por su buenos consejos, su amistad y su paciencia. Que estas palabras sean un testimonio de respeto y agradecimiento.

Al Dr. Xavi Such, muchas gracias por su colaboración y apoyo durante este trabajo, su amistad y confianza, al Dr. Ramon Casals por su amistad y generosidad. A la Dra. Elena Albanell por su amistad e interés siempre presentes.

A todo el equipo del Servicio de Granja de la UAB: Ricard Comorera, Alfredo Vega, Manel Pagès, Ramon Sáez, Josep Vidal, Adela Ramírez, Manolo y Valeriano Martínez, especialmente a Ramon Costa, por su amistad y valiosos consejos. Agradezco también la amistad y los consejos de los profesores: Cristina Conill, Josefina Plaixats, Maria J. Milan, Maite Paramio, Sergio Calsamiglia, Alfred Ferrett, Josep Gasa, Jordi Bartolomé y Jesús Piedrafita. Así como a Rosa Armengol y Blas Sánchez por su ayuda en los trabajos analíticos en el laboratorio.

Por la amistad, ayuda y sobre todo por los buenos momentos compartidos en la unidad de producción animal (*Pecera*), particularmente a Ahmed Salama, Juan Ghirardi, Marta Hernández, Cristóbal Flores, Vanesa Castillo y Constanza Saa, que les deseo el mayor de los éxitos en sus respectivas Tesis Doctorales. Mi agradecimiento extiende también a mis compañeros y amigos Maristela Rovai, Jean Kayombo, Anna Borrell, Elisa Thomas e Irene Llach y por supuesto a los siempre presentes miembros de la familia Garin.

Muy contento me voy por haber compartido gratos momentos con todos los compañeros doctorando especialmente con Paul, Amine, Lorena, Maria, Marta, Ernesto, Elizabeth, Maria José, Silvia, Aina, Adriana, Vikky, Begoña, Edgar, Eliel, Toni, Cecilia, Luciano y Gerardo. Espero no olvidarme de ninguno....., a todos ellos muchas gracias.

Finalmente, quiero agradecer a la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI) para financiar este trabajo.

**La línea de trabajo de esta tesis doctoral ha dado origen a las siguientes publicaciones del doctorando:**

- Ayadi M., & G. Caja 2000. The use of real time ultrasonography for the visualization of milk ejection in dairy cows. Mediterranean Agronomic Institute of Zaragoza-Universitat Autònoma de Barcelona. CD-Rom.
- Ayadi M., G. Caja X. Such & C. H. Knight. 2000. An ultrasonographic methodology for estimating mammary cistern volume after different milking intervals in dairy cows. *J. Animal Sci.*, 78, Suppl. 1/ *J. Dairy Sci.*, 83, Suppl. 1, 166 (Abstr.).
- Caja G., M. Ayadi C. Conill M. Ben M'Rad E. Albanell & X. Such. 2000. Effects of milking frequency on milk yield and milk partitioning in the udder of dairy cows. Pages 177-178 *in* *Robotic Milking*. H. Hogeveen y A. Meijering, eds. Wageningen Pers, The Netherlands.
- Ayadi M., G. Caja X. Such E. Albanell M. Ben M'Rad & R. Casals. 2002. Effects of omitting one milking per week on milk yield, milk composition and udder health of dairy cows. *J. Animal Sci.*, 80, Suppl. 1/ *J. Dairy Sci.*, 85, Suppl. 1, 10 (Abstr.).
- Caja G., M. Ayadi X. Carré & M. Xifra 2002. Los robots de ordeño en España: Situación actual y perspectivas. Paginas 11-16 *en* *Ordeño Robotizado*, G. Caja y J. López eds. Agrícola Española, S.A. Madrid, España.
- Casals R., & M. Ayadi. 2002. El futuro del ordeño en las explotaciones de vacas lecheras de alta producción; su organización. Paginas 541-567 *en* *El ordeño: Aspectos claves*. C. Buxadé ed. Mundi Prensa, Madrid, España.
- Such X., & M. Ayadi. 2002. Bases anatómicas y fisiológicas de la secreción y de la eyección lácteas. Paginas 53-90 *en* *El ordeño: Aspectos claves*. C. Buxadé ed. Mundi Prensa, Madrid, España.
- Ayadi M., G. Caja X. Such & C. H. Knight. 2003. Efectos de la supresión de un ordeño a la semana sobre la producción de leche en vacas lecheras. *Información Técnica Económica Agraria (ITEA)*. Producción Animal, 24 (Vol. Extra):169-171.
- Ayadi M., G. Caja X. Such & C. H. Knight. 2003. Effect of omitting one milking weekly on lactational performance and morphological udder changes in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:2352-2358.
- Ayadi M., G. Caja X. Such & C. H. Knight. 2003. Use of ultrasonography for the estimation of cistern size and milk storage at different milking intervals in the udder of dairy cows. *J. Dairy Res.* 70:1-7.
- Ayadi M., G. Caja X. Such & E. Albanell. 2003. Effects of different milking intervals on composition of cisternal and alveolar milk in dairy cows. *J. Animal Sci.*, 81, Suppl. 1/ *J. Dairy Sci.*, 86, Suppl. 1, 189 (Abstr.).
- Ayadi M., G. Caja X. Such M. Rovai & E. Albanell. 2003. The effect of different milking intervals on milk composition of cisternal and alveolar milk in dairy cows. *J. Dairy Res.* (en prensa).
- Caja G., M. Ayadi & C. H. Knight. 2003. Changes in udder cisterns according to lactation stage and time elapsed after milk letdown in the udder of dairy cows. *J. Dairy Sci.* (enviado).
- Caja G., M. Ayadi & C. H. Knight. 2003. Evidence of cisternal recoil after milk letdown in the udder of dairy cows. *J. Animal Sci.*, 81, Suppl. 1/ *J. Dairy Sci.*, 86, Suppl. 1, 117 (Abstr.).
- Ayadi M., I. Llach G. Caja I. Bustos A. Bach & X. Carré. 2004. Udder cistern evaluation to help the decision making process of assigning the appropriate milking frequency in automatically milked cows. *Proc. Int. Symp. Automatic Milking*. Wageningen Pers, The Netherlands (en prensa).

## **Abreviaturas**

(Basado en las normas del *Journal of Dairy Science*)

µg/kg : parts per billion

a.m. : morning

AMS : Automatic milking system

bST : Bovine somatotropin

BW : Body weight

CMT : California mastitis test

CP : Crude protein

d : día o day

DIM : Days in milk

DNA : Desoxyribo nucleic acid

ECM : Energy corrected milk

FAS : Fatty acid synthetase

FIL: Feedback inhibitor of lactation

Fri : Friday

GH : Growth hormone

h : hora o hour

i.m. : intramuscular

i.v. : intravenously

IGF: Insulin-like growth factor

IU : International Unit

kPa : kilopascal

L and l : Liter

LAM : Leche apurado a máquina

LM : Leche a máquina

Log<sub>10</sub> : logarithm (base 10)

LR : Leche residual

Mcal : Megacalorie

min : minute

MJ : Mega Joule

Mon : Monday

NE<sub>l</sub> : Net energy of lactation

NIRS : Near-Infrared spectroscopy

OT : Oxytocin

*P* : Probability

p.m. : afternoon

PRL : Prolactin

RCS : Recuentos de células somáticas

Sat : Saturday

SCC : Somatic cells counts

sem : Semana

SEM : Standard error of the Mean

Sun : Sunday

T : Tonelada

Thu : Thursday

Tue : Tuesday

vs : Versus

Wed : Wednesday

wk : Week

WMT : Wisconsin mastitis test

## **ÍNDICE**

# INDICE

	Páginas
<b>CAPÍTULO 1: Introducción</b> .....	1
<b>1.1. Producción mundial de leche de vaca</b> .....	1
<b>1.2. Problemática del ordeño del vacuno lechero</b> .....	3
<b>CAPÍTULO 2: Revisión bibliográfica</b> .....	5
<b>2.1. Morfología de la glándula mamaria de la vaca lechera</b> .....	5
2.1.1. Origen y desarrollo de la glándula mamaria.....	5
2.1.2. Estudio de los caracteres lecheros y su relación con la productividad.....	8
2.1.3. Morfología externa de la ubre y sus medidas anatómicas.....	11
2.1.4. Morfología interna de la ubre.....	15
2.1.4.1. Métodos generales para estudio de la estructura interna de la ubre.	20
<b>2.2. Ecografía mamaria</b> .....	23
2.2.1. Antecedentes.....	23
2.2.2. Conceptos básicos de ultrasonografía.....	24
2.2.3. Aplicación en la ubre de los rumiantes.....	26
<b>2.3. Bases fisiológicas de la secreción y la eyección de leche</b> .....	29
2.3.1. Síntesis y secreción de leche.....	29
2.3.1.1. Control hormonal sistémico.....	29
2.3.1.2. Control local autocrino.....	34
2.3.1.3. Influencia de la morfología interna de la ubre sobre la secreción de leche.....	37
2.3.2. Eyección de leche.....	38
2.3.3. Inhibición de la eyección de leche.....	41
2.3.4. Estimulación y vaciado de la ubre en el ordeño.....	43
2.3.4.1. Ordeño convencional.....	43
2.3.4.2. Ordeño robotizado.....	45
<b>2.4. Fraccionamiento de leche en la ubre</b> .....	48
2.4.1. Reparto de leche en la ubre.....	48
2.4.2. Variación de la composición de las diferentes fracciones de leche en ubre...	50

	Páginas
2.4.3. Factores de variación del fraccionamiento de leche en la ubre.....	52
2.4.3.1. Estado y número de lactación.....	52
2.4.3.2. Máquina y rutina de ordeño.....	55
<b>2.5. Frecuencia e intervalo entre ordeños.....</b>	<b>56</b>
2.5.1. Introducción.....	56
2.5.2. Ritmo regular de ordeño.....	57
2.5.2.1. Un ordeño al día frente dos ordeños.....	57
2.5.2.2. Tres ordeños al día o más frente dos ordeños.....	61
2.5.3. Ritmo irregular de ordeño.....	68
2.5.3.1. Frecuencias asimétricas.....	68
2.5.3.2. Supresión de un ordeño a la semana.....	72
<b>CAPÍTULO 3: Objetivos experimentales.....</b>	<b>76</b>
<b>CAPÍTULO 4: Supresión de un ordeño por semana en vacas lecheras.....</b>	<b>77</b>
<b>4.1. Introduction.....</b>	<b>78</b>
<b>4.2. Materials and Methods.....</b>	<b>79</b>
4.2.1. Experiment 1.....	79
4.2.1.1. Animals and feeding.....	79
4.2.1.2. Routine milking.....	79
4.2.1.3. Experimental procedures, calculations and milk analysis .....	79
4.2.2. Experiment 2.....	81
4.2.2.1. Animals, feeding and routine milking.....	81
4.2.2.2. Experimental procedures and milk analysis.....	81
4.2.3. Statistical analysis.....	81
<b>4.3. Results.....</b>	<b>82</b>
4.3.1. Experiment 1.....	82
4.3.1.1. Milk yield and milk composition .....	82
4.3.1.2. Relationship between udder cisternal size and yield loss.....	84
4.3.2. Experiment 2.....	85
4.3.2.1. Milk yield, milk composition and udder health.....	85

	Páginas
<b>4.4. Discussion</b> .....	85
<b>4.5. Conclusions</b> .....	88
<b>CAPÍTULO 5: Efectos de distintos intervalos entre ordeños sobre la composición química de la leche en vacas lecheras</b> .....	90
<b>5.1. Introduction</b> .....	91
<b>5.2. Materials and Methods</b> .....	92
5.2.1. Animals, feeding and routine milking.....	92
5.2.2. Experimental procedures.....	93
5.2.3. Statistical analysis.....	93
<b>5.3. Results</b> .....	94
<b>5.4. Discussion</b> .....	98
<b>5.5. Conclusions</b> .....	101
<b>CAPÍTULO 6: Evolución de la leche cisternal a lo largo de la lactación y con el tiempo transcurrido desde la estimulación del reflejo de eyección en la ubre de vacas lecheras</b> .....	103
<b>6.1. Introduction</b> .....	104
<b>6.2. Materials and Methods</b> .....	105
6.2.1. Experiment 1: Cisternal change with lactation stage.....	105
6.2.1.1. Animal, feeding and routine milking.....	105
6.2.1.2. Experimental procedures.....	106
6.2.2. Experiment 2: Cisternal recoil.....	106
6.2.2.1. Animals feeding and routine milking.....	106
6.2.2.2. Experimental procedure.....	107
6.2.3. Statistical analysis.....	107
<b>6.3. Results and discussion</b> .....	108
6.3.1. Experiment 1.....	108
6.3.2. Experiment 2.....	110
<b>6.4. Conclusions</b> .....	113
<b>CAPÍTULO 7: Conclusiones</b> .....	115
<b>8.1. Conclusiones específicas</b> .....	115
<b>8.2. Conclusiones generales</b> .....	117
<b>CAPÍTULO 8: Referencias bibliográficas</b> .....	119

**CAPÍTULO 1:**  
**Introducción**

# **CAPÍTULO 1: Introducción**

## **1.1. Producción mundial de leche de vaca**

La ganadería es actualmente el sector agrario que más superficie ocupa en el Mundo, y las previsiones estiman que será el sector más importante en valor añadido para el año 2020. Debido al aumento de la población y de sus ingresos, a la rápida urbanización y a los hábitos alimenticios en continuo cambio, hay una expansión sin precedentes de la industria ganadera, especialmente en los países en desarrollo. Así, se espera que entre el 2002 y el 2020 la demanda total de leche y de carne crezcan un 25 y 35%, respectivamente (FAO, 2003). La principal aportación del ganado a la sociedad actual es su empleo como alimento, aunque se vea superado como tal por las plantas, que aportan aproximadamente el 80% de las calorías consumidas en el mundo. En cambio, los animales son una fuente muy importante de proteína, más que de calorías, representando la tercera parte de la proteína consumida por el hombre (Burditt *et al.*, 2000).

La producción de leche en el Mundo es de una gran magnitud (599 Millones de T), está muy regionalizada (Unión Europea-15 produjo 122 Millones de T), y se ha mantenido relativamente estable en los últimos años, a pesar de las dificultades de orden económico y social que están sufriendo algunos países (FAOSTAT, 2003). Así, la leche de vaca representa el 83,9% de la producción mundial total, seguida por la de búfalo (12,6% de la producción). Por otra parte, la producción de leche de cabra, de oveja y otros animales representan el 2,0, 1,3 y 0,2% de la producción mundial de leche, respectivamente. La distribución de la producción de leche de vaca por continentes y países se muestra en la Tabla 1.1. Durante los últimos 10 años la producción de leche de vaca aumentó más de un 30% en África, América y Asia, y más de un 70% en Oceanía. Sin embargo, se observó una disminución cercana al 10% en Europa, como consecuencia de la disminución del número de vacas lecheras y la continua restricción de la producción a causa de las cuotas lecheras, a pesar de un aumento en la distribución de dichas cuotas para algunos países de Europea-15, como Italia, España, Grecia y el Norte de Irlanda (IDF, 2001).

Casi dos tercios de la leche bovina producida en el Mundo se procesa en las industrias para su posterior venta como leche pasteurizada (entera, desnatada y otras) y leche fermentada. Por otra parte, se comercializan productos lácteos como el queso, la mantequilla, el yogur y la leche desnatada en polvo.

Así, el Reino Unido transforma más de la mitad de la producción de leche bovina para la comercialización líquida, mientras que Nueva Zelanda dedican cerca del 90% de la leche producida a la fabricación de mantequilla, leche en polvo y otros subproductos lácteos, utilizando el resto como leche líquida (IDF, 2001).

**Tabla 1.1.** Distribución de la producción mundial de leche de vaca por continentes y países en el año 2002 (FAOSTAT, 2003).

Países	Producción			Consumo aparente kg /habitante/año
	Miles de Toneladas	Producción <sup>1</sup> (%)	Variación 1992/02 (%)	
Mundo	502.325	83,9	+ 9,0	81,9
África	20.643	3,5	+ 36,8	25,4
<i>Cuenca del Mediterráneo</i> <sup>2</sup>	5.479	26,5	+ 74,6	35,5
América	144.743	28,8	+33,1	171,6
<i>Centro-Norte</i>	98.853	68,3	+14,2	200,5
Canadá	8.130	8,2	+6,5	262,3
México	9.597	9,7	+33,6	95,6
USA	77.021	77,9	+12,6	269,3
<i>Sur</i>	45.890	31,7	+33,1	130,8
Brasil	22.635	49,3	+39,1	130,8
Argentina	8.200	17,9	+20,7	218,7
Asia	98.905	19,7	+33,8	26,6
Europa	212.276	42,3	-9,9	292,4
<i>Europa-15</i>	121.834	57,4	-0,21	323,2
Alemania	21.012	17,3	+0,08	256,2
España	6.400	5,3	+3,5	160,4
Francia	25.197	20,7	-2,1	423,5
Holanda	10.842	8,9	-8,9	677,6
Reino Unido	14.918	12,3	+1,0	249,5
Italia	11.365	9,3	+4,3	197,7
Oceanía	25.757	4,3	+71,0	833,6
Australia	11.610	45,1	+67,3	611,0
Nueva Zelanda	14.078	54,7	+75,0	3.696,9

<sup>1</sup>: El porcentaje de la producción de leche respecto a su valor superior

<sup>2</sup>: Cuenca del Mediterráneo: Argelia, Egipto, Libia, Maruecos y Túnez

En el mismo contexto, se puede destacar en la Tabla 1.1 que en algunos países Europeos, como Francia y Holanda, se superan los 365 litros por habitante y por año de consumo

aparente de la leche, justificado por una mayor transformación de la leche en quesos y derivados. La variación de los precios de leche y los productos lácteos tiene un efecto directo sobre el desarrollo del sector lechero. Así, los precios de intervención de la mantequilla, leche desnatada en polvo y la leche entera (con 3,7% de materia grasa entregada en lechería) se espera que sufrirán una reducción de un 15 a 17% a partir de la campaña de comercialización de 2005-2006 (PAC, 2002). Esta modificación contribuirá a fomentar el consumo en el mercado interior y a mejorar la competitividad de los productos lácteos de la Unión Europea en los mercados internacionales.

## **1.2. Problemática del ordeño en vacuno lechero**

Los problemas que se presentan en relación a la producción de leche son muy distintos según la región productora. Así, mientras en Europa se presentan fuertes excedentes, en África y América del Sur hay un claro déficit de leche y productos lácteos. En consecuencia, los intereses de los ganaderos y la orientación futura de los sistemas de producción son muy distintos entre regiones, aunque el material animal tiende a ser universalmente el mismo: la vaca Holstein (raza cosmopolita y mayoritaria para la producción de leche en el Mundo).

Los programas de selección seguidos en vacas lecheras, tienen como principal objetivo aumentar la cantidad de leche producida (estandarizada a 305 d), lo que se relaciona con el tamaño de la ubre y con la cantidad de tejido conjuntivo y secretor. Recientemente Pérez-Cabal y Alenda (2002) han publicado la relación existente entre los efectos de la selección y el beneficio económico de las vacas Holstein en España. Una mayor cantidad de tejido secretor supone un mayor potencial de producción de leche, que no se puede expresar fenotípicamente si los animales no disponen de un volumen grande de las cisternas de la ubre para su almacenamiento, o si no se evacua pronto la leche mediante ordeños frecuentes (Knight *et al.*, 1994a; Davis *et al.*, 1998; Stelwagen, 2001). En la práctica, dada la presión de selección que se ejerce sobre la morfología de las vacas (tipo), y en particular sobre la de la ubre, las vacas de elevada producción de leche y alta puntuación morfológica necesitan elevar la frecuencia de ordeño (3 ordeños/día). Elevadas frecuencias aumentan la producción de leche (+15%), pero afectan negativamente a la composición de la misma, la fertilidad y la vida productiva de las vacas (Smith *et al.*, 2002). Además, este aspecto representa una importante limitación para muchas explotaciones lecheras, especialmente en el caso de las de tipo familiar en Europa, que actualmente intentan simplificar las rutinas de ordeño o incluso suprimir algún ordeño (domingo por la tarde) para mejorar las condiciones de trabajo y la calidad de vida de los ganaderos.

Una estrategia para evitar la necesidad de aumentar el número de ordeños diario y para reducir las pérdidas de leche al simplificar las rutinas de ordeño, es incrementar el volumen efectivo de las cisternas de la ubre en las vacas, tal como han señalado Knight *et al.* (1994a) y Davis *et al.* (1998), lo que podría ser optimizado si se conoce la estructura interna de la ubre y sus efectos en la leche segregada (alveolar) o almacenada (cisternal). En este sentido, como resultado de los trabajos previos realizados, Ayadi *et al.* (2003a) han desarrollado una nueva metodología no invasiva para el estudio de la estructura interna de la ubre en vacas lecheras.

Estudios como el presente pueden permitir conocer mejor los factores que regulan el desarrollo y funcionamiento de la glándula mamaria en vacas lecheras, así como evaluar diversas metodologías aplicables a las condiciones productivas particulares de las distintas regiones del Mediterráneo.

**CAPÍTULO 2:**  
**Revisión bibliográfica**

## **CAPÍTULO 2: Revisión bibliográfica**

### **2.1. Morfología de la glándula mamaria de la vaca lechera**

#### **2.1.1. Origen y desarrollo de la glándula mamaria**

La glándula mamaria es una glándula epitelial exocrina, que sintetiza leche en células especializadas llamados lactocitos, agrupados en alvéolos, y que es excretada por medio de un sistema de conductos de estructura ramificada (Turner, 1952; Schmidt, 1974). Es exclusiva de los mamíferos (*Mammalia*) y está, cuantitativa y cualitativamente, adaptada a las necesidades de crecimiento y a la conducta de cada especie.

La disposición, número y emplazamiento de la o las glándulas mamarias varía según el orden taxonómico, tal como muestra la Tabla 2.1 (Schmidt, 1974; Larson, 1985). En los suidos, roedores, lagomorfos y carnívoros, la glándula mamaria se encuentra distribuida a lo largo de la zona ventral (líneas de la leche), mientras que en otros animales solamente se desarrollan las glándulas inguinales (rumiantes y équidos) o pectorales (proboscidos, quirópteros y primates). La glándula mamaria tiene gran parecido histológico con otras glándulas epiteliales, como las salivares y sudoríparas, y su principal función es la producción lechera para la alimentación de los animales jóvenes durante la época de cría. El proceso se controla integralmente por sistemas hormonales autocrinos y neuro-endocrinos. Su desarrollo se produce principalmente durante la gestación y el inicio de la lactación, involucionando muy rápidamente después del secado.

La glándula mamaria está formada por dos estructuras principales: el parénquima y el estroma. El parénquima es la parte secretora de la glándula y está constituido por tejido epitelial túbulo-alveolar, derivado del engrosamiento lineal del ectodermo del embrión, y consta de los llamados sistemas alveolar y tubular (ductal). El estroma está formado por otros tejidos complementarios de origen mesodérmico como los sistemas vasculares sanguíneo y linfático, y los tejidos adiposo, conjuntivo y nervioso (Delouis y Richard, 1991; Martinet y Houdebine, 1993; Labadía y Tovar, 1995; Caja *et al.*, 2000).

Ambas estructuras se desarrollan muy temprano en el embrión. A partir del ectodermo ventral, se induce la migración de células epiteliales hacia ambos lados de la línea media, formando dos cordones mamaros en la superficie de la piel, constituidos por células epiteliales ectodérmicas, que se van estrechando hasta formar dos líneas, llamadas líneas de la leche (Pérez y Gutiérrez, 1987; Winters, 1997).

Como consecuencia de ello, a mitad de la gestación, en todos los embriones de mamíferos, aparecen un total de ocho pares de esbozos mamarios (Delouis y Richard, 1991). Estos esbozos mamarios se pueden observar claramente desarrollados en embriones a partir de los 30 días de edad (Turner, 1952), pero es a los 80 días cuando la glándula mamaria en la vaca adquiere una estructura propia, individualizándose, y configurando los acinis mediante la unión en círculo de las células epiteliales.

Los alvéolos se desarrollan fundamentalmente durante la gestación por estímulo de la progesterona, quedando ya configurados al cuarto mes de gestación; sin embargo, hasta los 7 meses no tienen capacidad funcional eficaz, de ahí que los animales nacidos en partos prematuros anteriores a esta fecha ven limitada su producción de leche durante toda su vida (Pérez y Gutierrez, 1987; Delouis y Richard, 1991).

**Tabla 2.1.** Variación en cantidad, emplazamiento y número de orificios en la glándula mamaria de algunas especies comunes (Larson, 1985).

Orden	Nombre común	Posición de la glándula			Total glándulas	Orificios por pezón
		Torácica	Abdominal	Inguinal		
Marsupialia	Canguro rojo		4		4	15
Marsupialia	Opossum		13		13	8
Carnívora	Gato doméstico	2	6		8	3-7
Carnívora	Perro doméstico	2	6	2	10	8-14
Rodentia	Ratón doméstico	4	2	4	10	1
Rodentia	Ratón noruego	4	4	4	12	1
Lagomorpha	Conejo	4	4	2	10	8-10
Cetacea	Ballena			2	2	1
Proboscidea	Elefante	2			2	10-11
Perisodactila	Caballo			2	2	2
Artiodactila	Bovino			4	4	1
Artiodactila	Ovino			2	2	1
Artiodactila	Caprino			2	2	1
Artiodactila	Porcino	4	6	2	12	2
Primate	Humano	2			2	15-25

En el momento del nacimiento, la ubre de la vaca muestra una clara diferenciación de las cisternas (*Sinus lactiferus*) y de los pezones (*Papilla mammae*), así como también un desarrollo muy incipiente del sistema ductal, con pocos conductos primarios pero rodeados por numerosas células formadoras de estroma. En los dos primeros meses, la ubre crece a la misma velocidad que el cuerpo (*crecimiento isométrico*), lo que conlleva un aumento en el depósito de grasa y conjuntivo.

Durante la fase posterior, la ubre no crece a la misma velocidad que el cuerpo (*crecimiento alométrico*), dando lugar a un elevado desarrollo de la red de conductos que invaden el tejido adiposo (Winters, 1997; Johnson, 2001). Durante esta fase, la cantidad de DNA en el tejido mamario se multiplica por 3,5, con un crecimiento menor del peso vivo (Martinet y Houdebine, 1993; Mäntysaari, 2001). Progresivamente, el ritmo de crecimiento de la glándula mamaria va disminuyendo, hasta la pubertad, donde el crecimiento se vuelve de nuevo isométrico (Tabla 2.2.). Es importante señalar que durante esta fase, un crecimiento excesivo del estroma en relación al parénquima puede afectar negativamente la futura capacidad de producción de leche de la ubre (Serjrsen *et al.*, 1982; Capuco *et al.*, 1995; Sejrsen y Purup, 1997; Mäntysaari, 2001). Esta fase crítica ocurre antes en ovino que en vacuno, con importantes diferencias entre razas. Así, el crecimiento del parénquima termina antes de la pubertad en ovino (alrededor de los 4-5 meses de edad) y como consecuencia, la mamogénesis en las corderas se verá afectada por la nutrición durante y después de la fase positiva del crecimiento alométrico (Bocquier y Guillouet, 1990; Caja *et al.*, 2000, 2002a; Tolman y McKusick, 2001; Ayadi *et al.*, 2002).

En la mayoría de las especies, la pubertad es el período de crecimiento mas rápido para los ductos y el estroma de la glándula mamaria (*crecimiento alométrico positivo*), como resultado de la acción de las hormonas sexuales. El comienzo de la actividad cíclica del ovario da lugar a la producción de estrógenos (fase folicular del ciclo estral) y progesterona (fase luteal), que inducen el desarrollo preferencial del tejido mamario, provocando una aceleración del crecimiento de la glándula. Los estrógenos son los responsables del alargamiento y ramificación de los conductos y la formación de pequeñas masas esféricas de células en los extremos, y la progesterona provoca el desarrollo lóbulo-alveolar (Labadía y Tovar, 1995). Además de estas dos hormonas, para el crecimiento de la glándula mamaria, es necesaria la acción de la prolactina, hormona de crecimiento y corticoides adrenales.

Durante la gestación, los conductos continúan alargándose y ramificándose. Según Mäntysaari (2001), la glándula mamaria aumenta su crecimiento durante la gestación de forma exponencial, y hay un aumento del peso del parénquima de un 25% cada mes. Delouis y Richard (1991) estimaron un cambio de 10 a 90% en el peso relativo del parénquima durante la gestación. A partir de la mitad de la gestación, los alvéolos ya están formados, pero las células secretoras no proliferan y no se diferencian hasta el último tercio (Knight y Wilde, 1993), cuando los alvéolos presentan a un gran desarrollo y aparece su luz interna o cavidad alveolar. La prolactina es la responsable del desarrollo de las células epiteliales secretoras en el interior del alveolo, y la hormona de crecimiento favorece el crecimiento de los conductos

(Delouis y Richard, 1991). Durante la gestación también actúa el lactógeno placentario, que tiene una acción similar a las hormonas citadas anteriormente.

Durante la lactación, el número total de células mamarias es crítico para la producción de leche. Estas continúan aumentando después del parto, paralelamente al incremento del contenido en DNA. En la vaca, el DNA mamario aumenta un 65% entre 10 días antes del parto y 10 días después, mientras que en especies como la rata y la cerda, el DNA puede aumentar hasta un 100% (Johnson, 2001). Recientemente, Akers (2002) señaló que la cantidad total de DNA del tejido secretor en los rumiantes se dobla entre las dos semanas antes y después del parto (27,9 vs 46 g), pero estos datos no determinan si el crecimiento se realizó antes o después del parto.

**Tabla 2.2.** Crecimiento del parénquima mamario en novillas y ovejas (Basado en Sejrsen *et al.*, 1982; Keys *et al.*, 1989; Smith *et al.*, 1989; McFadden *et al.*, 1990).

	Estado de desarrollo				
	Pre-puberal	Post-puberal	Mitad gestación	Final gestación	Lactación
Novillas					
DNA (g)	1,1	2,6	16,3	39,3	38,8
Peso (g)	495	957	5.110	8.560	16.350
Corderas					
DNA (g)	0,02	0,09	1,3	2,3	2,6
Peso (g)	15	78	557	1.057	1.340

El proceso inverso ocurre durante el período de secado, con una desaparición de los alvéolos y su sustitución por tejido adiposo (Hurley, 1989; Oliver y Sordillo, 1989). El cambio mas importante que tiene lugar en el proceso de involución de la ubre es la regresión del tejido secretor, con la consiguiente alteración en la secreción láctea, que sucede como consecuencia del cambio estructural que tiene lugar en el lactocito y su muerte celular (*apoptosis*). Por eso, las células epiteliales presentan al final de la involución un citoplasma muy reducido y una importante pérdida de las vellosidades en la membrana apical, mientras que luz alveolar es prácticamente inexistente, y los lactocitos se agrupan en bloques compactos poco diferenciados, aumentando la proporción de estroma (Jimeno y Castro, 2002).

### 2.1.2. Estudio de los caracteres lecheros y su relación con la productividad

La valoración genética de los animales ha evolucionado de forma notable en las últimas décadas, especialmente en lo que se refiere a los métodos estadísticos utilizados respecto

información recogida de los animales. El desarrollo de nuevas técnicas estadísticas de evaluación de reproductores (método BLUP) ha sido de tal trascendencia que ha originado cambios en la concepción de los programas de selección genética en producción animal.

Los programas de selección genética de vacuno lechero han resultado cada vez más eficaces, debido a que los objetivos de selección han puesto un mayor énfasis en las características productivas que afectan directamente a la rentabilidad del sistema de explotación (Hansen, 2000). Sin embargo, se ha comprobado que la selección centrada especialmente en los caracteres productivos puede provocar, a medio o largo plazo, efectos no deseados sobre otros caracteres, que dificulten la obtención de la leche producida por los animales. Muchos trabajos han sido realizados para conocer la relación que existe entre los caracteres productivos y los morfológicos. Por estos motivos, además de los caracteres productivos, se ha incidido también en caracteres relacionados con la apariencia externa del animal, como puede ser el “tipo” o valoración global, incluyendo ubre, anchura de pecho y profundidad del cuerpo, aplomos y pezuñas, y recuento en células somáticas (RCS) como indicador del estado sanitario de la ubre y la duración de la vida productiva de la vaca (Martínez, 2000).

En la actualidad, la mamitis viene siendo una de las enfermedades mas importantes del ganado bovino, causando pérdidas económicas elevadas como consecuencia de una reducción en la producción de leche, una disminución del precio de venta de la misma debido al deterioro de su calidad microbiológica y al incremento de los gastos veterinarios (Charron, 1988; Charfeddine, 1999). Una de las vías de selección para una reducción del recuento celular de la leche es la utilización de un índice compuesto de ubre que combine los rasgos lineales del sistema mamario negativamente correlacionados con este factor (Charfeddine y Pena, 1999).

La duración de la vida productiva de la vaca o longevidad es un carácter deseado por muchos ganaderos y también incluido en los programas de mejora genética. La longevidad no significa necesariamente mayor edad, sino que las vacas que viven más son mas valiosas por su tendencia a presentar una mayor producción de leche a lo largo de su vida, sobreviviendo al proceso de reposición. La selección por longevidad es ineficiente debido a que se ve influida por muchos factores, la mayoría de naturaleza ambiental. La heredabilidad de la duración de la vida productiva es baja, aproximadamente un 8%, y además pueden llegar a ser necesarios hasta ocho años para que las hijas de un toro completen sus vida en el rebaño (VanRaden y Klaaskate, 1993; Martínez, 2000).

En realidad, la longevidad de las vacas en muchos rebaños depende principalmente de tres factores: indemne a graves episodios de mastitis, esté libre de problemas reproductivos importantes, y produzca niveles aceptables de leche (Hansen, 2000). En general, los caracteres morfológicos son poco fiables para predecir la longevidad de un animal. Todas las investigaciones muestran que los caracteres productivos son mejores predictores de la longevidad que cualquier otro rasgo. Sin embargo, de entre todos los caracteres morfológicos, las características de la ubre (en particular la situación de los pezones, la profundidad de la ubre y su inserción anterior) se encuentran estrechamente relacionadas con la longevidad. Distintas investigaciones (Klassen *et al.*, 1992; Vollema y Groen, 1997; Pérez-Cabal y Alenda, 2002) han demostrado que las vacas con una profundidad de ubre media, permanecen en el rebaño más tiempo que las vacas con valores extremos (ubre superficial o ubre profunda). Es muy probable que las vacas con ubres poco profundas tiendan a ser poco productoras y que las vacas con ubres muy profundas sean más propensas a mastitis o lesiones de la ubre. A pesar de la importancia que muchos ganaderos dan a los caracteres de pezuñas y extremidades, existen estudios acerca de la evolución de la vida de un animal que sugieren que los rasgos de estas regiones anatómicas tienen un impacto mucho menor en la vida de las vacas de los rebaños que las características productivas y la morfología de la ubre (Vollema y Groen, 1997).

Según Wilcox, (1992) los caracteres lecheros son todos aquellos aspectos que definen la cantidad y la calidad de la leche producida por el animal, y que son objeto de selección en producción animal. Básicamente se clasifican según se refieran a: la cantidad y su composición de leche, y a las morfológicas y productivas del animal. Pero, para que un carácter sea utilizable en un programa de mejora genética debe además ser medible con exactitud, ser heredable, y tener relación con los beneficios productivos (Welper y Freeman, 1992). Las heredabilidades de los caracteres lecheros mas importantes en vacuno de raza Holstein están descritas en la Tabla 2.3.

Recientemente, con la introducción del ordeño robotizado en las granjas comerciales, se está haciendo necesaria la mejora específica de la conformación de la ubre y del temperamento de los animales, ya las instalaciones que han adaptado dichos robots se han visto obligadas a desprenderse de un 10-20% de las vacas, por ser excesivamente nerviosas, por tener una excesiva profundidad de ubre, o por una incorrecta posición de los pezones (Martínez, 2000; Caja *et al.*, 2002b). Según Martínez (2000), las vacas altas y angulosas, con cuerpo fino y ubres amplias, presentan, con mayor probabilidad, altas producciones de leche durante la primera lactación.

Esto se explica por la existencia de elevadas correlaciones genéticas positivas entre la producción de leche y el carácter angulosidad (0,59-0,77). También, se destacan correlaciones altas y negativas de la producción de leche con la profundidad y la inserción anterior de la ubre, lo que implica que al seleccionar ubres de gran profundidad o de inserción más adelantada, se produce una disminución en el valor productivo. Así mismo, según Welper y Freeman (1992) la producción de grasa y proteína presentan unas correlaciones altas y positivas con los caracteres lecheros y la angulosidad del animal, y una correlación alta y negativa con la profundidad y la inserción anterior de la ubre.

**Tabla 2.3.** Heredabilidad ( $h^2$ ) de los caracteres lecheros en raza Holstein (adaptado de Welper y Freeman, 1992; Martínez, 2000).

Caracteres productivos	$h^2$	Caracteres morfológicos	$h^2$
Leche, kg	0,29	Altura a la cruz	0,42
Grasa, kg	0,28	Profundidad corporal	0,37
Proteína, kg	0,25	Sistema mamario	0,20
Lactosa, kg	0,25	Inserción anterior de la ubre	0,29
Grasa, %	0,51	Altura posterior de la ubre	0,29
Proteína, %	0,45	Anchura posterior de la ubre	0,23
Lactosa, %	0,48	Profundidad de ubre	0,28
Recuento Células Somáticas	0,13	Surco intermamario	0,23
Vida Productiva	0,08	Longitud de pezones	0,26

### 2.1.3. Morfología externa de la ubre y sus medidas anatómicas

La morfología externa de la ubre en vacas lecheras ha sido bien estudiada desde hace años por distintos autores (Turner, 1952, 1978; Schummer *et al.*, 1981). La ubre bovina presenta un conjunto de cuatro glándulas, llamadas cuartos o cuarterones, cubiertas externamente por un piel suave y elástica, provista de vello fino excepto en los pezones. En su apariencia, la ubre es redondeada y se encuentra externamente a la cavidad abdominal, adosada a su pared mediante un fuerte aparato suspensor (Fig.2.1). Las cuatro glándulas mamarias están íntimamente unidas pero son independientes. Cada glándula tiene su propio conjunto de ductos que conducen la leche hasta el seno lactífero glandular. Las glándulas drenan su contenido al exterior a través de un conducto que finaliza en un pezón (*Papilla mammae*) por glándula. Suele ser frecuente la presencia de pezones supernumerarios, en casi el 20-40% de las vacas, relacionados a veces con tejidos glandular funcional, especialmente en los cuartos posteriores.

La ubre se halla dividida en dos mitades, derecha e izquierda, mediante un surco ínter mamario profundo (*Sulcus intermamarius*) producido por la tensión del ligamento suspensorio mamario (Schummer *et al.*, 1981). Los cuarterones pertenecientes a cada media ubre no están claramente delimitados (Swenson, 1984; Mahieu, 1985), e incluso en ocasiones el parénquima de uno de ellos puede introducirse en la porción parenquimatosa de otro, aunque sin fusión entre ellos. Sin embargo, existe una independencia fisiológica y patológica entre cuartos, sin que haya conexión entre sus conductos, secretando cada uno de ellos leche de composición diferente y pudiendo sufrir mamitis de modo independiente. Según Schmidt (1974), los cuartos posteriores están ligeramente más desarrollados que los anteriores, y contienen de un 25 a 50% más de tejido secretor, pudiendo llegar a producir hasta el 60% de la leche total secretada por la ubre (índice antero-posterior = 40%).

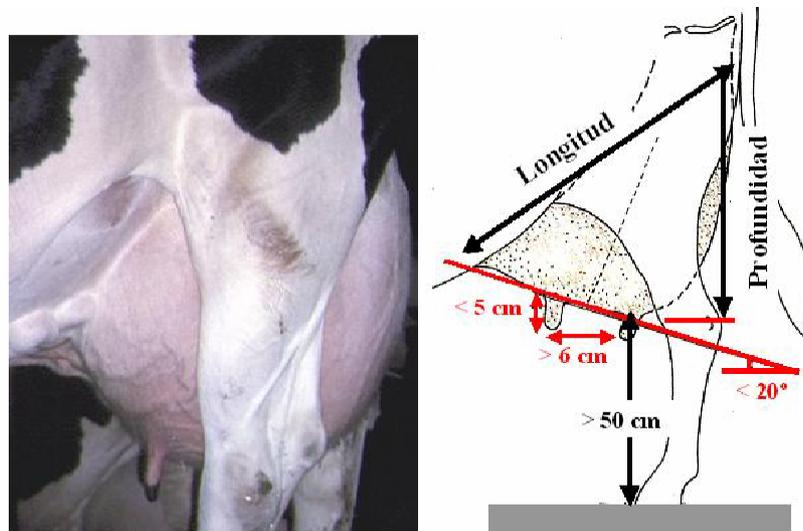
Según Labussière (1966), el peso de la ubre cambia con la edad de la vaca, el estado de lactación, la cantidad de leche presente en la glándula, y las características genéticas. Schmidt (1974) y Swenson (1984) señalaron que la ubre de una vaca adulta pesa entre 14 y 32 kg, pero los valores extremos pueden oscilar entre 10 y 114 kg. Hay que tener en cuenta, en las vacas lecheras actuales, la ubre puede llegar a pesar de 50 a 75 kg debido a la gran cantidad de tejido secretor y de leche que se almacena entre ordeños. La ubre más deseada es alargada, amplia y de moderada profundidad, extendida hacia delante, bien suspendida a una altura razonable del suelo, con un ligamento posterior marcado, simétrica y equilibrada entre cuartos.

Las características morfológicas externas de la ubre en bovino lechero han sido estudiadas por muchos autores (Labussière y Richard, 1965; Norman y Van Vleck, 1972; Blacke, 1977; Seykora y McDaniel, 1986; Rogers y Spencer, 1991; Le Du *et al.*, 1994; Miller *et al.*, 1995). Para describir la morfología de la ubre y evaluar el rendimiento lechero del animal y su aptitud al ordeño mecánico, se definen diversos parámetros morfológicos que corresponden a medidas de la ubre, del pezón y de la cisterna.

Las ubres más voluminosas son las que producen más leche, con correlaciones entre la producción lechera y las medidas de ubre que oscilan entre 0,50 y 0,84 (Labussière y Richard, 1965). Las características morfológicas que mejor definen el tamaño de la ubre son la profundidad, la longitud, la distancia al suelo y el volumen. Norman y Van Vleck (1972) indicaron una correlación positiva de la profundidad de la ubre (distancia entre la inserción perineal de la ubre y la base) con la producción de leche ( $r = 0,27$ ) y la producción de materia grasa ( $r = 0,23$ ). Según Labussière y Richard (1965), la longitud de la ubre (distancia desde la inserción perineal de la ubre y la inserción abdominal) es una variable muy relacionada con la

producción lechera ( $r = 0,80$ ) y con la suspensión de la ubre, ya que las ubres poco descolgadas se insertan normalmente muy cranealmente ( $r = - 0,56$ ; Witt, 1963).

En el mismo contexto, Seykora y McDaniel (1986) señalaron que las vacas lecheras con un ligamento suspensor de la ubre muy marcado, presentan una leche mas baja en células somáticas. Así mismo, tal como indico Labussière (1966), la ubre debe hallarse a unos 50 cm del suelo para facilitar el ordeño y evitar el riesgo de infección mamaria. Hay que señalar que, además de voluminosas, las ubres deben ser elásticas, para poder almacenar la leche producida. Según Labussière (1966) la elasticidad se valora mediante el coeficiente de expansión, que relaciona la superficie mamaria entre pezones antes y después del ordeño, y que tiene una relación media-baja con la producción de leche ( $r = 0,25-0,39$ ).



**Figura 2.1.** Morfología externa y medidas de referencia de la ubre de vacuno (Caja, 2003).

Además, para poder ordeñar con facilidad a un animal, es necesario que los pezones sean cortos, estrechos e implantados verticalmente (Labussière, 1966). Las características morfológicas de los pezones más interesantes para el ordeño son la longitud, la anchura, el ángulo de inclinación, la posición y la distancia entre pezones. Los pezones deben ser verticales para permitir un buen drenaje de leche durante el ordeño mecánico. Muchos autores han descrito correlaciones negativas entre los caracteres que definen el tamaño de los pezones (longitud y anchura) y la velocidad de ordeño (Johansson y Malven, 1960; Stallkup *et al.*, 1963; Labussière y Richard, 1965). La longitud media de los pezones es de 5-6 cm, y los pezones posteriores son 0,5 a 1 cm más cortos que los anteriores (Labussière, 1966). Según Sandvik (1957), la correlación entre la longitud del pezón y la velocidad de ordeño es negativa ( $r = - 0,30$ ).

Esto explica la dificultad de ordeño de algunas vacas con pezones largos. Para Stallkup *et al.* (1963), la anchura del pezón varía entre 2-3 cm de diámetro, habiéndose descrito también una correlación negativa de dicha medida con el caudal máximo de ordeño ( $r = -0,66$  a  $-0,70$ ). Miller *et al.* (1995) precisan que la distancia entre la base de los pezones no debe ser nunca inferior a 6 cm, a pesar de que los pezones de los cuartos posteriores están, normalmente, más cercanos entre sí. Según los mismos autores, la distancia entre los pezones anteriores, antes de ordeño, es aproximadamente el doble que entre los posteriores, observándose una disminución del 45-50% de dicha distancia después del ordeño.

El tamaño de las cisternas mamarias viene definido por su altura, valorada externamente entre el punto de inserción de los pezones y la región más ventral de la misma (Labussière, 1983). Esta característica morfológica, de gran interés en ovino y caprino lechero, es de difícil medida en vacuno, debido a la posición de los pezones en la base de la ubre. La presencia de grandes cisternas indica, en gran medida, una mayor capacidad de la ubre para distenderse frente a la acumulación de leche, y sobre todo, una mayor cantidad de leche ordeñable (Gallego *et al.*, 1983; Labussière, 1983). Esta capacidad de distensión, junto con una adecuada red canalicular, determinan una mejor respuesta a la simplificación de las rutinas de ordeño (Labussière, 1988). Sin embargo, en ovino lechero, la altura de las cisternas mamarias no presenta altas correlaciones ( $r = 0,21$  a  $0,37$ ) con la producción de leche (Casu *et al.*, 1983; Gallego *et al.*, 1983; Labussière, 1983; Rovai, 2001). Sin embargo, cabe señalar que lo que se mide realmente no se corresponde con la cisterna anatómica, que como estructura interna de la ubre se evalúa mejor por medio de la ecografía (Ruberte *et al.*, 1994a).

Actualmente, con la progresiva implantación de los robots de ordeños, es indispensable la mejora de la morfología mamaria en vacas lecheras (Caja *et al.*, 2002b). Estos debido a que, para asegurar el proceso de colocación automático de las pezoneras, las ubres deben cumplir una serie de requisitos mínimos, con el fin de que pueda localizar la posición de los pezones y haya espacio suficiente bajo la ubre para que pueda entrar el brazo del robot. Estos requisitos mínimos deberán ser tenidos muy en cuenta por el ganadero a la hora de seleccionar los animales en una granja con un sistema de ordeño automático (AMS).

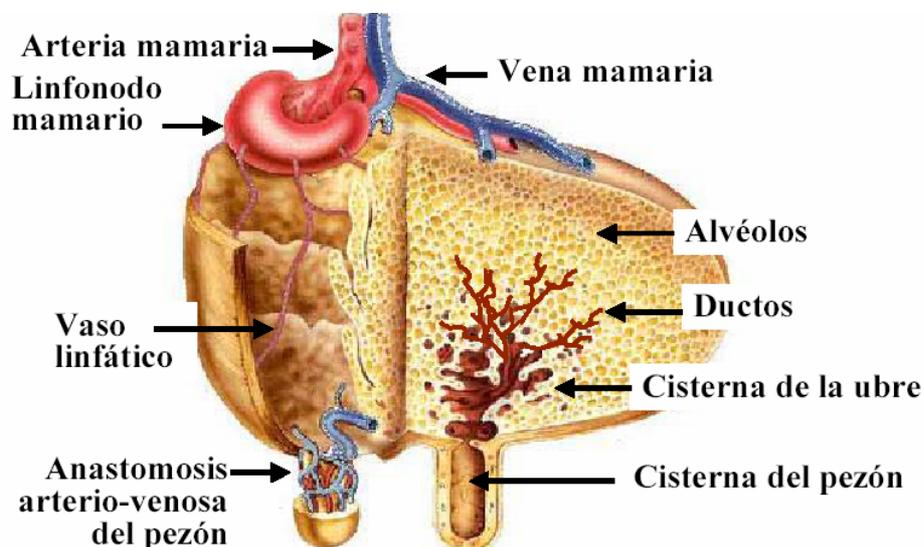
Según Carnero y Busto (2002), en los AMS tipo Lely Astronaut<sup>®</sup> las características que debe cumplir una ubre son: una inclinación de pezones no superior a 30° en relación a la vertical, una distancia entre pezones posteriores mínima de 3 cm y entre los anteriores mínima de 12,5 cm y máxima de 30 cm, y un diámetro no superior a los 3,5 cm ni inferior a 1,5 cm. También, para facilitar la colocación de las pezoneras, el extremo de los pezones posteriores debe estar situado al menos a 3 cm por debajo de la zona más ventral de la ubre, y los pezones

anteriores a un distancia mínima de 7 cm de los posteriores. Según los mismos autores, la profundidad de la ubre tiene una gran importancia en el éxito del proceso de ordeño automatizado, ya que la distancia entre el final del pezón y el suelo debe ser como mínimo de 35 cm para que quepa el brazo del robot. Además de todas las medidas morfológicas externas mencionadas previamente, la ubre no debe presentar pezones supernumerarios, bultos o abscesos, y no debe ser extremadamente peluda.

Según De Koning y Ouweltjes (2000), las medidas morfológicas externas de la ubre de vaca lechera ordeñada por un robot afectan directamente al tiempo fijo de ordeño del sistema automático (preparación de la ubre, limpieza de los pezones, colocación y retirada de las pezoneras), y por tanto a la optimización de la capacidad del AMS en términos de kg de leche producidos por el sistema.

#### 2.1.4. Morfología interna de la ubre

La estructura interna de la ubre de la vaca es similar al de otras especies de rumiantes, estando constituida por una cápsula fibroelástica, el parénquima glandular y el estroma (Fig.2.2). La existencia de estas estructuras define las características anatómicas y funcionales de cada glándula mamaria.



**Figura 2.2.** Estructura interna de la ubre en vacas lecheras (Hospes y Seeh, 1999).

Según Swenson (1984) la ubre se mantiene adosada a la pared abdominal gracias a la piel y a un potente sistema o aparato suspensor mamario (*Aparatus suspensorius mamarius*), que impide que ésta se descuelgue y minimiza el riesgo de lesiones.

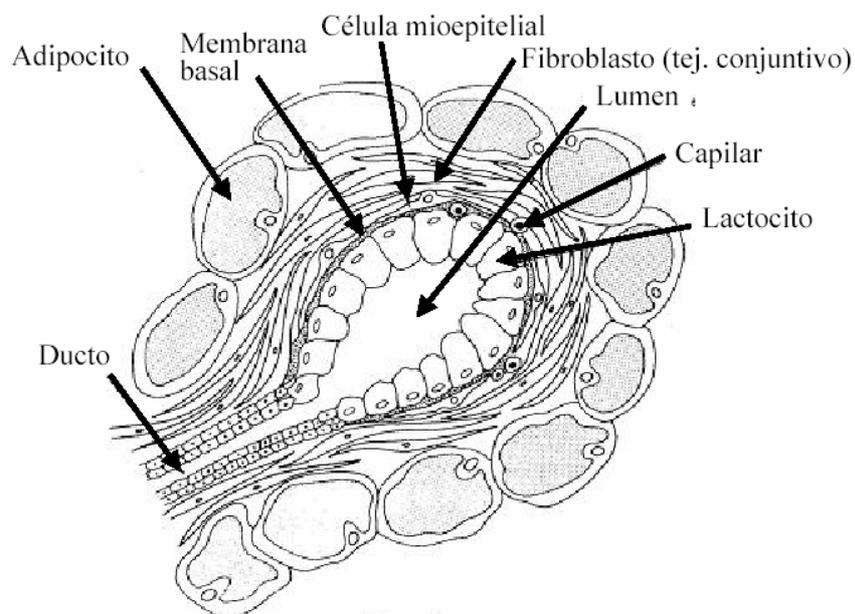
La piel y el tejido subcutáneo de fibras superficiales desempeñan un papel muy secundario en el sostén de la ubre. La piel de revestimiento de la ubre es fina, flexible y móvil sobre la fascia existente debajo de ella, excepto en los pezones donde está unida a las capas más profundas que forman su pared.

El aparato suspensor mamario está formado, en primer lugar, por hojas o láminas laterales (*Laminae laterales*) superficiales de tejido conjuntivo denso y fibroso. Estas nacen del coxal y se dirigen hacia el exterior de la ubre, especialmente en la parte craneal y en los laterales. Se ramifican fijándose en el abdomen y en los músculos internos. Estas láminas laterales protegen los vasos mamarios que circulan por el canal inguinal, y cubren los nódulos linfáticos mamarios (linfonodos mamarios) situados en la parte superior de la región caudal de la ubre. En segundo lugar, existen unas láminas laterales profundas, que también parten del tendón subpúbico y se dirigen hacia el exterior de la ubre, por debajo de los ligamentos superficiales. Estas laminas envían pequeños tabiques a través del interior de la glándula, que conectan con laminas similares del ligamento suspensor medio. Las zonas más distales de estos ligamentos se extienden por debajo de la base de la ubre, inmediatamente por encima de los pezones, para unirse al ligamento suspensor medio y proporcionar la suspensión principal de la ubre. Finalmente, la estructura más importante, el ligamento suspensor medio (*Laminae mediales*), está compuesto de tejido muy elástico y se origina en la zona ventral del coxal y en los músculos de la pared abdominal, dirigiéndose hacia el centro de la ubre y emitiendo laminas que se unen a los ligamentos laterales y al tejido conjuntivo que separa los cuartos anteriores y posteriores. El ligamento suspensor medio contiene fibras elásticas que permiten que la ubre se expanda en el proceso de almacenamiento de leche, y proporcionan un efecto absorbente frente a los golpes. Este ligamento determina el surco intermamario de la ubre (Schummer *et al.*, 1981; Swensson, 1984; Labussière, 1988; Blowey y Edmonson, 1999; Such y Ayadi, 2002).

El parénquima es la parte secretora de la glándula, y está constituido por tejido epitelial tubulo-alveolar, formando un conjunto de sistemas alveolares y tubulares (ductos). El tejido secretor está formado por alvéolos o acinis de 100 a 300  $\mu$  de diámetro cada uno, que representan las unidades secretoras de la glándula (Fig. 2.3). La pared de los alvéolos está revestida por un epitelio simple secretor, de células cúbicas llamadas lactocitos, que se asientan sobre una membrana basal. Los acinis mamarios están rodeados por células mioepiteliales y por un sistema capilar arterio-venoso. Cabe señalar que estas células mioepiteliales no tienen función secretora, pero intervienen en el proceso de eyección de la leche acumulada en la luz de los alvéolos, contrayéndose por acción de la oxitocina y

expulsando la leche del interior de los acinis hacia la cisterna mamaria (Turner, 1952; Schmidit, 1974; Larson, 1985).

Los alvéolos se presentan en grupos encapsulados por tejido conjuntivo (115 a 220 alvéolos) y con un tamaño de 7-8 mm de diámetro, formando los lobulillos mamarios (*Lobuli glandulae mammae*). La agrupación de lobulillos, separados entre sí por tejido conjuntivo, forma los lóbulos (*Lobi glandular mammae*). Cada glándula mamaria contiene numerosos lóbulos. Los alvéolos que forman el lobulillo se vacían, mediante pequeños ductos, en unos túbulos llamados ductos intralobulillares, que desembocan en un espacio colector central, del cual emergen los ductos interlobulillares o galactóforos, de epitelio plano poliestratificado no queratinizado, que vierten la leche en los llamados conductos lactíferos (Schmidit, 1974; Delouis y Richard, 1991; Wattiaux, 1996).



**Figura 2.3.** Estructura del alvéolo mamario (Delouis y Richard, 1991).

Los conductos lactíferos (*Ductos lactiferi*) se caracterizan por ser tubos de diverso diámetro y longitud, compuestos de un epitelio de una o dos capas de células, rodeados por otras de naturaleza conjuntivo-elástica y por fibras musculares. Estos tubos, dispuestos de forma paralela, atraviesan regularmente el parénquima, y se encargan de llevar la leche de los alvéolos hasta el seno lactífero (Schwarse y Schroider, 1984). El seno lactífero (*Sinus lactiferus*) se halla dividido irregularmente por pliegues de la mucosa en una porción glandular o cisterna de la ubre (*Pars glandularis*) y una porción papilar o cisterna del pezón (*Pars papillaris*).

En la mayor parte de las vacas lecheras, existe una constricción circular bien definida entre las dos cisternas, llamada pliegue anular o cricoides. Este pliegue presenta una prominencia muy variable según el estado de replección del anillo de venas que aparece en su submucosa. En vacas lecheras el seno lactífero pueden almacenar hasta 400 ml de leche (Schmidit, 1974). La forma de la cisterna de la ubre es muy variada, presentando formas cavernosas que varían desde cisternas circulares a lobulares formadas a partir del ensanchamiento de los conductos lactíferos (Turner, 1952; Schmidit, 1974). Estos aspectos han sido confirmados, en ovino de carne y lechero, mediante ecografía (Ruberte *et al.*, 1994b; Caja *et al.*, 1999; Rovai, 2001).

La estructura interna del pezón en vacas lecheras ha sido estudiada por diversos autores (Schmidit, 1974; Schummer *et al.*, 1981; Wattiaux, 1996). La función principal del pezón consiste en transferir la leche al ternero joven, por lo tanto es la estructura de la ubre por la que drena la leche hacia el exterior durante el amamantamiento o el ordeño. El pezón tiene un plexo venoso eréctil en su base que, bajo el estímulo de la succión y de la bajada de la leche, se congestiona para producir un pezón más rígido y turgente. Si el pezón se tuviese que encoger, impediría el flujo de leche desde la cisterna glandular hacia la cisterna del pezón, y ello produciría un considerable retraso en la operación de ordeño. Además, el pezón, y de modo especial el conducto del pezón, tienen una función muy importante en la resistencia de la ubre a las infecciones. Cabe señalar que el pezón está inervado abundantemente, y por ello puede transmitir, con mucha eficacia, los estímulos del ternero o de la máquina de ordeño al cerebro, induciendo de este modo el fenómeno de eyección de leche.

Según los mismos autores, el tamaño y la forma de los pezones varía enormemente, pudiendo tener una forma cónica y ser puntiagudos, o ser cilíndricos con un extremo aplanado. La pared del pezón consta de 3 capas, con una función muy importante cada una de ellas en la bajada de la leche y en el control de las infecciones mamarias. La primera capa es la epidermis, revestimiento externo de la piel, exenta de pelo en el ganado vacuno, formada por células muertas queratinizadas, y donde se localizan los nervios sensoriales. La segunda capa es la dermis, formada por tejido conjuntivo mezclado con tejido muscular liso. En su seno se hallan los vasos sanguíneos y los nervios, pero no las fibras sensoriales. En la base del pezón, contiguo a la ubre, se localiza el plexo venoso eréctil. Los músculos están situados en planos transversales y longitudinales. Cabe señalar también que existe un músculo circular, llamado esfínter, alrededor del conducto del pezón, que actúa en el proceso de cierre o apertura del pezón. La tercera capa de la pared del pezón es la mucosa de la cisterna, formada por un epitelio cúbico con doble capa de células.

La mucosa presenta unos pliegues que discurren en todas direcciones y le comunican un aspecto irregular. Por último, hay que señalar que la mucosa del conducto del pezón o conducto papilar, comunica la cisterna del pezón con el exterior, y presenta unas finas crestas longitudinales que se originan en el orificio interno, formando la denominada roseta de *Fürstenberg*. El exceso de desarrollo de dicha roseta puede dificultar el ordeño del animal o la desobstrucción del pezón.

El estroma de la ubre está integrado por tejidos complementarios de origen mesodérmico, tales como los vasos sanguíneos y linfáticos, el tejido conjuntivo y el adiposo, y los nervios, que rodean al tejido glandular. En general, las dos glándulas mamarias de un mismo lado, reciben sangre mediante una rama de la arteria pudenda externa del lado correspondiente, y sólo una pequeña parte de cada glándula recibe irrigación complementaria gracias a unas pequeñas ramas mamarias de la arteria perineal ventral. Estas arterias pudendas externas son muy voluminosas, largas y con un diámetro que varía dependiendo del tamaño de la glándula a irrigar, y pasan a denominarse arterias mamarias al atravesar el canal inguinal y llegar a la base de cada mama. Cada arteria mamaria se divide en dos ramas, caudal y craneal, que a su vez se subdividen en pequeñas arterias que irrigan la glándula mamaria y el pezón (Schmidt, 1974; Schummer *et al.*, 1981). El patrón de distribución de las venas es un poco más complejo, formándose encima de la base de implantación de la ubre un anillo venoso con conexiones transversales entre venas. El drenaje de sangre de cada media ubre se realiza por las venas pudendas externas y las subcutáneas abdominales o epigástricas craneales superficiales, conocidas por los ganaderos como “fuentes de la leche” (Feldman, 1961; Schmidt, 1974). El sistema venoso mamario presenta válvulas de tipo “nido de golondrina” para impedir el retroceso sanguíneo.

La producción de leche demanda gran cantidad de nutrientes, que llegan a la ubre gracias a la sangre. Así mismo, para producir 1 kg de leche, es necesario que pasen por la glándula mamaria de una vaca entre 400 y 700 kg de sangre, aumentando dicha cantidad al final de la lactación (Linzell, 1960; Kronfeld *et al.*, 1968; Prosser *et al.*, 1996). Según estos autores, el flujo de sangre que atraviesa la ubre de una vaca varía de 20 a 70 ml /100 g tejido y hora.

Un plexo de vasos linfáticos, desprovistos de válvulas, se extiende por el pezón y el tejido conjuntivo de soporte del parénquima mamario. La ubre bovina presenta dos nódulos linfáticos en cada mitad, que se conocen como nódulos linfáticos supramamarios, localizados en la región dorso caudal de la glándula. Uno de ellos grande (8 cm) y superficial, y el otro pequeño y profundo (Schmidt, 1974). La linfa se desplaza por la diferencia de presión originada en la respiración y en los capilares, y por las contracciones musculares.

El flujo de la linfa en la glándula mamaria es mucho mayor en las vacas lactante que en las secas. La tasa de dicho flujo varia de 14 a 240 ml/hora en vacas secas, y hasta 2600 ml/hora en vacas recién paridas o al principio de la lactación, estimándose que el 50-70% de la linfa que pasa por el conducto torácico de vacas en lactación proviene de la glándula mamaria (Schummer *et al.*, 1981).

La ubre posee una inervación múltiple procedente de nervios espinales, lumbares y sacros (Schmidit, 1974). El parénquima glandular y las partes profundas del pezón están inervadas solamente por el nervio genitofemoral (3° y 4° par lumbar), mientras que la piel que reviste la ubre recibe inervación de las ramas ventrales de los 1<sup>er</sup> y 2° pares lumbares, el genitofemoral, y las ramas mamarias del nervio pudendo (5° y 6° par lumbar). El nervio genitofemoral contiene fibras simpáticas aferentes y eferentes, inervando estas últimas los vasos sanguíneos y la musculatura lisa de los pezones, así como las células mioepiteliales del parénquima. Las fibras aferentes juegan un papel muy importante en el reflejo neurohormonal de la bajada de la leche de los alvéolos a las cisternas mediante la liberación de oxitocina. Además, el estímulo del sistema nervioso simpático provoca una vasoconstricción periférica produciendo como consecuencia un efecto inhibitorio de la secreción láctea.

#### **2.1.4.1. Métodos generales para estudio de la estructura interna de la ubre**

La estructura interna de la ubre en vacas lecheras ha sido estudiada por diversos autores (Turner, 1952; Schmidit, 1974; Swenson, 1984). En los primeros trabajos que realizados por Matthews *et al.* (1949 citado por Labussière, 1966), se señaló que en las vacas lecheras no basta con que la ubre sea voluminosa, sino que es necesario que pueda almacenar la máxima cantidad posible de leche, especialmente en el caso de intervalo entre ordeños largo (24 h). Según estos autores, hay vacas que presentan una ubre voluminosa pero que secretan muy poca leche, lo que sucede cuando la proporción de tejido conjuntivo es mucho más elevada que la proporción de conductos y tejido secretor. En estudios realizados en vacas lecheras sobre las correlaciones entre el caudal de leche durante el ordeño y la proporción de tejidos mamarios (Labussière y Richard, 1965) se demuestra que hay una correlación negativa ( $r = -0,26$ ) entre dicho caudal y la proporción de tejido conjuntivo intra-lobular, y una correlación positiva ( $r = + 0,54$ ) con la proporción de tejido glandular. Así mismo, hay una mayor velocidad de extracción de leche (mayor caudal de leche durante el ordeño) en el caso de ubres con poco tejido conjuntivo. La disminución de la velocidad de ordeño es una consecuencia de la compresión del tejido conjuntivo sobre los conductos galactóforos, dificultando la extracción de la leche.

En el mismo contexto, se han realizado diversos trabajos para estudiar la relación entre la elasticidad de los pezones en vacas (Blaxter *et al.*, 1950; Johansson y Malven, 1960; Le Du y Taverna, 1989; Haman y Mein, 1990; Zecconi *et al.*, 1992) y en ovejas (Labussière y Martinet, 1964; Marnet *et al.*, 1999). Los ensayos realizados por Le Du *et al.* (1994) en vacas lecheras de raza Frisona Francesa, han demostrado que los pezones de los cuartos traseros se ordeñan más rápidamente que los delanteros. Así, los pezones de pared poco gruesa, con el canal terminal rodeado con poco tejido elástico, son más fáciles de ordeñar, presentando una disminución en el tiempo de ordeño y un incremento del flujo de leche.

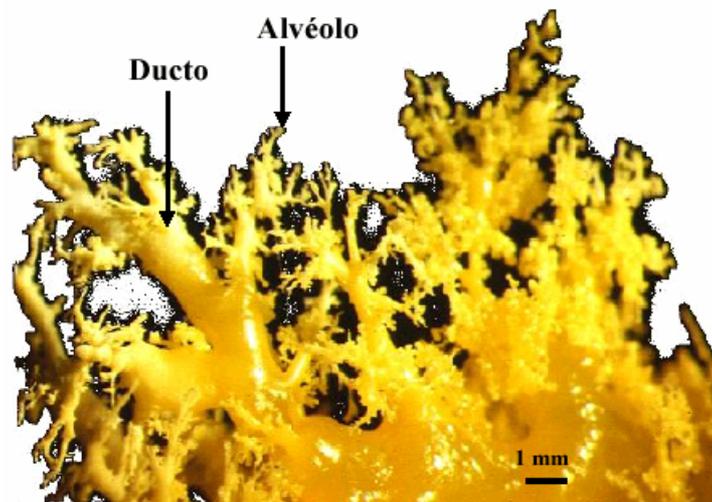
Las proporciones de tejido conjuntivo, tejido adiposo y el espacio ductal son difícilmente cuantificables histológicamente. La utilización de nuevos sistemas de muestreo mediante biopsia en la ubre de vacas lecheras (Far *et al.*, 1995; 1996), es poco factible en animales en producción, y por tanto no es posible su empleo generalizado en la práctica. Por esta razón, la investigación ha trabajado mucho en este campo, a fin de poner a punto nuevas técnicas que permitan el estudio de la estructura interna de la ubre en los rumiantes (Caja *et al.*, 2000).

Uno de los sistemas recientes utilizados en el estudio del sistema lóbulo-alveolar y las cisternas de la glándula mamaria es la utilización del método de moldes de plástico, usado en el estudio anatómico de tejidos blandos (Ditrich y Splechtna, 1989; Ruberte *et al.*, 1994a; Carretero *et al.*, 1999). Este método consiste en obtener un molde del sistema canalicular de la glándula mamaria en animales previamente sacrificados. Para ello, tras vaciar toda la leche posible de la ubre mediante ordeño con oxitocina, se inyecta una *resina epoxy* fluida a través del esfínter del pezón a fin de obtener la repleción completa de todo el sistema túbulo-alveolar (cisternas, ductos y alvéolos) de la ubre. Una vez endurecida la *resina epoxy*, las ubres son sumergidas en una solución de KOH que corroe todo el tejido orgánicos. Los moldes obtenidos (Fig. 2.4) se pueden utilizar en estudios macroscópicos y microscópicos para observar los detalles morfológicos a fondo.

La utilización de la microscopia electrónica, tal como han indicado Caruolo (1980) y Williams y Daniel (1983), para el estudio de la ultraestructura de la glándula mamaria ha podido mostrar imágenes claras de los alvéolos mamarios en ovejas lecheras. Carretero *et al.* (1999) identificaron diferentes grados de desarrollo del sistema canicular del parénquima de la glándula mamaria de ovejas de raza Manchega y Lacaune durante la lactación. Las estructuras tubulogénicas encontradas variaron en frecuencia y tipo según el estado de la lactación, pero en todos los casos, los moldes de los lóbulos glandulares presentaron la apariencia típica de un racimo de uvas.

Todos los alvéolos visualizados por Carretero *et al.* (1999) mostraron un único e independiente conducto lobular, sin fusión entre los alvéolos adyacentes.

El desarrollo de los conductos de la glándula mamaria mostró una morfología similar a la del desarrollo del sistema vascular (origen mesodérmico) en embriones de distintas especies (Ditrich y Splechtna, 1989; Carretero *et al.*, 1999). También se visualizaron estructuras indicativas de una extensa proliferación del sistema canalicular en las ubres de ovejas de raza Manchega y Lacaune, entre la primera y la quinta semana de la lactación, así como un gran número de alvéolos en formación.



**Figura 2.4.** Detalle del sistema ductal, con sus conductos y alvéolos, obtenido por el método de moldes de plástico en oveja (Carretero *et al.*, 1999).

Según Carretero *et al.* (1999) ambas razas lecheras mostraron las mismas estructuras mamarias y siguieron el mismo modelo de desarrollo durante la lactación, a pesar de las diferencias encontradas en la producción de leche. El desarrollo del sistema canalicular mamario después del parto ha sido descrito en ovejas primíparas (Broker, 1984) y en cabras (Caballero y Wilde, 1993), pero los datos de Carretero *et al.* (1999) indican que el fenómeno también se produce en ovejas múltiparas. Según los mismos autores, el hecho de que aparezca proliferación celular en el pico de lactación está también de acuerdo con las observaciones previas de Knight y Wilde (1993).

A pesar del elevado coste y limitación en el uso de ciertos equipos en la medicina veterinaria, en los últimos años se han utilizado nuevas metodologías para el estudio de la estructura interna de la ubre de los rumiantes, como es el caso de la Resonancia magnética (Fowler *et al.*, 1990), la Tomografía Axial Computerizada y la Radiación-X (Gonzalez-

Romano *et al.*, 2000) en cabras, y de la Tomografía Axial Computerizada (Sorensen *et al.*, 1987) en vacas. Los estudios anatómicos *in vitro* son en muchos casos de utilización limitada, porque el órgano pierde su tonicidad y se torna flácido, factor que es de especial importancia en el caso de la ubre. Una posible forma de obtener una imagen *in vivo* de la estructura de la glándula mamaria es la utilización de técnicas no invasivas, como es el caso de la ultrasonografía en tiempo real (ecografía).

## **2.2. Ecografía mamaria**

### **2.2.1. Antecedentes**

La ecografía o ultrasonografía constituye un sistema de diagnóstico por imagen cuya utilización en la práctica veterinaria se muestra un constante aumento. Los factores que han contribuido a su empleo son la posible observación de los órganos en tiempo real y la visualización completa y no invasiva de las estructuras anatómicas (González *et al.*, 1999; Goddard, 2000).

La ultrasonografía comenzó a aplicarse en la década de los años 80 en la clínica reproductiva para el diagnóstico de gestación y la exploración médica (Basset y Gold, 1982; Vega *et al.*, 1994) de los animales de compañía, del bovino y del equino, pero su incorporación en las explotaciones de pequeños rumiantes fue más tardía y prácticamente sólo para el diagnóstico de gestación (Tainturier *et al.*, 1983; Buckrell *et al.*, 1986) y la determinación de número de fetos (Fukui *et al.*, 1986; Gearhart *et al.*, 1988; Blasco y Folch, 1989). La evolución de los aparatos de ecografía ha permitido la adaptación de sondas ecográficas que posibilitan el estudio de los ovarios y del útero no gestante en el caso de las hembras, o del aparato genital en el caso del macho (González *et al.*, 1999). Su utilización permite, además, la evaluación del desarrollo muscular y de la condición corporal, una correcta evaluación de los animales seleccionados como reproductores, y el diagnóstico de posibles patologías genitales que pueden cursar con infertilidad o esterilidad, problema especialmente importante en el caso de los machos (González *et al.*, 1999; Goddard, 2000).

Además, como la salud de la ubre condiciona en gran parte la calidad higiénica de la leche, y su impacto sobre el desarrollo económico de la granja es amplio (Blowey y Edmondson, 1999), la ecografía mamaria puede ser utilizada como método de diagnóstico de mamitis y de detección de anomalías anatómicas de los pezones (Saratsis y Grumert, 1993; Hamana *et al.*, 1994; Hospes y Seeh, 1999).

### 2.2.2. Conceptos básicos de ultrasonografía

La ecografía es un procedimiento de creación de imágenes mediante el empleo de ondas ultrasónicas reflejadas de una frecuencia situada por encima del límite superior del espectro audible (entre 2 y 10 MHz). Estas ondas son vibraciones mecánicas longitudinales que se extienden en medios elásticos. Se generan a partir de impulsos eléctricos al pasar por cristales cerámicos piezoeléctricos.

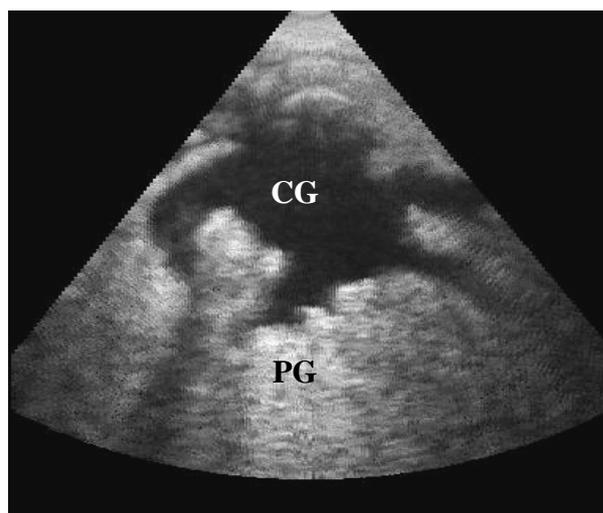
Tras la emisión de un impulso ultrasónico, los cristales se convierten en receptores y reciben las ondas reflejadas en las distintas superficies del tejido. Estas señales eléctricas se convierten en imágenes bidimensionales, en una pantalla. Dicha imagen es, por lo tanto, la representación de una fina lámina de tejido (algunos milímetros), en la cual la textura acústica de los diferentes componentes de una estructura se revela como puntos de diferentes tonalidades grises (Hospes y Seeh, 1999; González *et al.*, 1999; Goddard, 2000).

Así, el fundamento de la ecografía se basa en la emisión de ultrasonidos hacia los tejidos orgánicos, que los atraviesan o son rechazadas, según la densidad de dichos tejidos, dando lugar a un eco de retorno y a la consiguiente señal eléctrica de respuesta (Park *et al.*, 1981; Taboury, 1982; González *et al.*, 1999). La fuerza de la onda de ultrasonidos reflejada depende de varios factores, entre los que tiene especial importancia las diferencias de la resistencia acústica (impedancia) de los tejidos, el ángulo con el que entra en contacto la onda con el tejido, y la distancia recorrida (Cartee *et al.*, 1986; Goddard, 2000). En el mismo contexto, la profundidad de las ondas sonoras en el medio depende de la frecuencia, la desviación y la formación del sonido, así como de la temperatura. Por lo tanto, a frecuencia de emisión más alta, aumenta la definición de la imagen resultante, a costa de la profundidad. Las frecuencias de 10 MHz se consideran óptimas para la representación de detalles de estructuras cercanas a la piel (inferiores a los 4 cm); las frecuencias más bajas, alrededor de los 2 MHz, permiten alcanzar profundidades de más de 25 cm, pero con menor definición de la imagen (Hospes y Seeh, 1999; González *et al.*, 1999).

En los ecógrafos se distinguen dos métodos radicalmente distintos de exploración, según la disposición de los cristales piezoeléctricos de las sondas: sectorial y lineal. Las sondas sectoriales, con un solo cristal emisor-receptor, producen una imagen segmentaria o triangular con distorsión en los bordes y pérdida de información en los primeros centímetros, lo que es especialmente importante en la exploración de órganos o estructuras cercanas a la piel. Sin embargo, cabe señalar que con una sonda sectorial la superficie de contacto es reducida, independientemente de la frecuencia utilizada, y también es mucho más fácil su manipulación en la práctica.

Las sondas lineales, formadas por un conjunto de cristales alineados uno al lado del otro, producen una imagen rectangular, sin distorsión en la parte superior de la pantalla y con una buena resolución (Hospes y Seeh, 1999; González *et al.*, 1999; Goddard, 2000). Los ultrasonidos no atraviesan el aire con facilidad, y por ello es fundamental la utilización de un gel de contacto sobre la ubre para eliminar toda presencia de aire y obtener una imagen de buena calidad (Bruckmaier y Blum, 1992). Según los mismos autores, el agua puede también ser utilizada como un medio de transmisión de las ondas en la valoración de ubres.

En las ecografías, la morfología y la densidad de los distintos órganos, en base a su resistencia al paso de los ultrasonidos, se representan mediante una imagen con diferentes gradaciones de gris. Lo que aparece en la pantalla de color blanco representa la reflexión o retorno de ecos, por lo que estas estructuras se denominan *ecogénicas*. Las áreas negras en la imagen corresponden a la no existencia de reflexión, tratándose de estructuras llenas de líquido, que se denominan *anecogénicas* o *anecoicas* debido a la no existencia de ecos (González *et al.*, 1999). Según Bruckmaier y Blum (1992), Ruberte *et al.* (1994b), Caja *et al.* (1999) y Ayadi *et al.* (2003a), la visualización de las imágenes ecográficas realizadas en la ubre durante la lactación (Fig. 2.5) muestran que la piel y las láminas de fibras laterales son altamente *ecogénicas* (blanco) y el parénquima glandular medianamente *ecogénico* (gris). Por el contrario, las cisternas glandulares y del pezón, y también los conductos mamarios repletos de leche, son *anecogénicas* (negro).



**Figura 2.5.** Imagen ecográfica de la glándula mamaria en vaca lechera. PG: parénquima glandular; CG: Cisterna glandular (Ayadi *et al.*, 2003a).

Según Rubin *et al.* (1979) y Ruberte *et al.* (1994b) las imágenes ecográficas de la ubre durante la lactación no ponen en evidencia el tejido adiposo, que es medianamente *ecogénico*. Por eso, los tejidos adiposos se pueden confundir con la leche de las cisternas glandulares o de los conductos galáctoforos. Del mismo modo, la leche no se presenta del todo *anecogénica*, debido a la presencia de glóbulos de grasa y micelas de caseína (Basset y Gold, 1982; Ruberte *et al.*, 1994b). La administración de oxitocina exógena permite la visualización de este componente, originando una turbulencia de partículas en la imagen ecográfica en continuo (Bruckmaier y Blum, 1992; Ayadi y Caja, 2000; Ayadi *et al.*, 2003a).

### **2.2.3. Aplicación en la ubre de los rumiantes**

La ecografía mamaria ha sido aplicada al estudio de la estructura interna de la ubre en los rumiantes lecheros en relación a su capacidad productiva durante la lactación. En bovino lechero, dicha metodología fue empleada por Cartee *et al.* (1986) y Worstroff *et al.* (1986), y más recientemente por Franz *et al.* (2001) y Neijenhuis *et al.* (2001), para el diagnóstico de posibles alteraciones en la estructura de la ubre.

Para ello se han utilizado dos procedimientos. El primero es la inmersión completa de la ubre en un recipiente lleno de agua (medio ideal de transmisión de las ondas ultrasónicas), sujetando la sonda dentro del líquido sin que esté en contacto con la ubre. Esta técnica fue empleada colocando la sonda lateralmente en el caso de los cuartos de la ubre de vacas (Bruckmaier y Blum, 1992; Bruckmaier *et al.*, 1994a), y caudalmente en la ubre de cabras, y en la parte lateral o ventral en ovejas (Bruckmaier y Blum, 1992). Esta técnica de inmersión, descrita en detalle en algunos trabajos (Cartee *et al.*, 1986; Bruckmaier y Blum, 1992), tiene como ventaja el evitar posibles deformaciones del pezón originada por la presión ejercida por la sonda sobre el área en estudio, pero hay que señalar que su utilización no es muy práctica. El segundo procedimiento, desarrollado en ovino, consiste en acceder a la ubre por detrás, impregnando la sonda con un gel acuoso de contacto y situándola en el surco intermamario, a nivel de la proyección externa de los ganglios linfáticos mamarios y en dirección al pezón (Ruberte *et al.*, 1994; Caja *et al.*, 1991 y 1999; Rovai, 2001), o en la parte inguinal de la ubre (Nudda *et al.*, 2000). Recientemente, Ayadi *et al.* (2003a) han puesto a punto este segundo procedimiento, en vacuno lechero, colocando la sonda ecográfica cranealmente a la inserción del pezón en la ubre y dirigiéndola dorsalmente hacia la cisterna de la ubre. Hay que señalar que, en ambos procedimientos, el eje del canal del pezón se utiliza como referencia.

En vacas lecheras, Bruckmaier *et al.* (1994a) compararon el tamaño de las cisternas mamarias medidas mediante imágenes ecográficas, respecto a las medidas de las áreas de

dichas cisternas obtenidas mediante disección y congelación de los cuartos de la ubre. Los resultados obtenidos variaron considerablemente entre animales y en metodologías. Los valores medios de las áreas de las cisterna obtenidas por ecografía variaron entre 5 y 82 cm<sup>2</sup>, y en el método de congelación entre 11 y 49 cm<sup>2</sup>. Como se puede observar, el área de las cisternas obtenida mediante ecografía fue superior a la medida tras el sacrificio de los animales y la congelación de la ubre. Esta diferencia entre áreas puede ser debida a que en el caso del método del sacrificio, la presión intramamaria y los efectos de la gravedad están alterando en el animal muerto al que se extrajo previamente la leche para ser remplazada por la resina epoxi. Por otra parte, las correlaciones existentes entre el área de la cisterna y la sección congelada por un lado, y la imagen ecográfica y la repleción plástica por otro lado, fueron significativas ( $r = 0,84$  y  $0,94$ ;  $P < 0,05$ , respectivamente), lo que confirma que el área medida mediante ecografía es una medida que estima correctamente el tamaño real de la cisterna mamaria.

Las imágenes obtenidas por ecografía realizada en las ubres de vacas, cabras y ovejas, muestran una gran similitud en el rango de tamaño del área cisternal de la vaca y de la cabra, a pesar de que un cuarto de ubre de vaca es mayor que media ubre de cabra (Bruckmaier y Blum, 1992). Esta similitud es debida que la cabra almacena la mayor parte de la leche en las cisternas mamaria, mientras que la vaca lo hace en la fracción alveolar. En ovinos, las imágenes ecográficas muestran claramente que la cisterna mamaria puede estar situada más ventralmente que los pezones, dificultando así la bajada de leche por gravedad (Bruckmaier y Blum, 1992; Ruberte *et al.*, 1994b). En el mismo contexto, Bruckmaier *et al.* (1997a) no encontraron diferencia entre los tamaños cisternales de las razas Lacaune y Frisona del Este. Sin embargo, pudieron observar que ambas son diferentes respecto a la disposición anatómica de la cisterna respecto al pezón, lo que explica su distinta aptitud al ordeño mecánico. Rovai (2001) y Rovai *et al.* (2002) ha encontrado que la altura de las cisternas mamarias, en las razas Lacaune y Manchega, presenta una correlación positiva con el ángulo de inserción de los pezones. Esto implica que ubres que poseen mayor altura de las cisternas presentan pezones dirigidos más horizontalmente, lo que puede conllevar una mayor fracción de leche apurado a máquina, con la consiguiente peor adaptación al ordeño mecánico.

Según Bruckmaier y Blum (1992), la inyección intravenosa de oxitocina en vacas, ovejas y cabras produce un aumento espontáneo del área de la cisterna glandular y del pezón (Tabla 2.4), debido al drenaje de leche de los alvéolos a las cisternas como consecuencia de la contracción de las células mioepiteliales por efecto de la oxitocina.

Sin embargo, la inyección de un agonista  $\alpha$ -adrenérgico (*Fenilefrina*) provocó una disminución del área de la cisterna glandular y del pezón en vacas, ovejas y cabras (Tabla 2.4). Según Roets y Peeters (1985, 1986), los receptores  $\alpha$ -adrenérgicos están fundamentalmente localizados a nivel de las fibras musculares lisas del pezón, y por ello la estimulación de estos receptores produce una contracción de la musculatura del pezón (Peeters *et al.*, 1973), y como consecuencia una disminución del tamaño de la cisterna del pezón. La disminución del tamaño de la cisterna glandular confirma que los receptores  $\alpha$ -adrenérgicos están, también, alrededor de las cisternas glandulares y de los conductos galactóforos (Bruckmaier y Blum, 1992; Hammon *et al.*, 1994). En el mismo contexto, la inyección intravenosa de un agonista  $\beta$ -adrenérgico (*Isoproterenol*) no produjo ningún cambio visible en las imágenes ecográficas realizadas en las ubres de las vacas, ovejas y cabras. Bruckmaier *et al.* (1991) también señalaron que la inyección de isoproterenol no produjo un aumento en la presión intramamaria. La estimulación de los receptores  $\beta$ -adrenérgicos induce un relajamiento de la musculatura del pezón (Bernaba y Peeters, 1980), que no se acompaña de un cambio visible en las imágenes ecográficas.

**Tabla 2.4.** Efecto de la oxitocina y de la fenilefrina sobre las áreas de las cisternas mamarias medidas por ecografía (Bruckmaier y Blum, 1992).

Especie	Tratamiento	Cisterna del pezón (cm <sup>2</sup> )			Cisterna glandular (cm <sup>2</sup> )		
		Antes	Después	Diferencia (%)	Antes	Después	Diferencia (%)
Vaca	Oxitocina	8,7 ± 2,1	12,1 ± 2,0	+ 39*	27,8 ± 7,2	39,3 ± 8,6	+ 41*
Oveja		1,4 ± 0,2	2,3 ± 0,4	+ 64*	18,8 ± 2,5	30,1 ± 3,5	+ 60*
Cabra		7,7 ± 2,0	10,5 ± 3,4	+ 36*	15,9 ± 2,5	23,4 ± 6,3	+ 48*
Vaca	Fenilefrina	7,8 ± 1,5	3,4 ± 1,0	- 56*	23,3 ± 6,5	18,9 ± 6,4	- 19
Oveja	(agonista $\alpha$ -adrenérgico)	2,1 ± 0,1	1,1 ± 0,2	- 48*	19,1 ± 3,4	15,0 ± 3,2	- 21*
Cabra		5,3 ± 0,8	2,4 ± 0,5	- 55*	17,1 ± 3,0	11,3 ± 1,6	- 34*

\*: Diferencia antes y después del tratamiento diferente a  $P < 0,05$ .

El estudio del volumen de la cisterna mamaria puede ser considerado como un objetivo de selección cuando se requiere la mejora de la producción de leche. Así, el área de la cisterna estimada mediante ecografía proporciona una medida aceptable del tamaño real de la cisterna mamaria (Bruckmaier *et al.*, 1994a).

Muchos autores han estudiado la correlación existente entre la cantidad de leche cisternal almacenada en la ubre y el área de la cisterna estimada mediante ultrasonografía.

En vacas lecheras, Bruckmaier *et al.* (1994a), utilizando una sonda lineal de 5 MHz y a un intervalo entre ordeño de 10 horas, encontraron una correlación alta y significativa entre el área y la leche cisternal ( $r = 0,80$ ;  $P < 0,05$ ). Del mismo modo, Ayadi *et al.* (2003a) mediante una sonda sectorial de 5 MHz, encontraron una correlación similar ( $r = 0,84-0,88$ ;  $P < 0,01$ ) entre el área cisternal y la leche almacenada en las cisternas de la ubre de vacas entre 8 y 12 horas. En ovino, otros autores han encontrado una relación positiva entre la cantidad de leche cisternal y el área y el perímetro de la cisterna de la ubre, como es el caso de Caja *et al.* (1999) en ovejas de raza Ripollesa ( $r = 0,81$  y  $0,90$ , respectivamente) utilizando una sonda sectorial de 5 MHz después de 4 horas de intervalo entre ordeños, y Nudda *et al.* (2000) en ovejas de raza Sarda ( $r = 0,82$  y  $0,67$ , respectivamente) utilizando una sonda lineal de 3,5 MHz tras 24 horas de intervalo entre ordeños. Un trabajo reciente, en ovino lechero, realizado por Rovai (2001) en las razas Manchega y Lacaune, utilizando una sonda sectorial de 5 MHz tras 8 horas de intervalo entre ordeños, confirma esta correlación alta entre la cantidad de leche cisternal almacenada en la ubre y el área de la cisterna estimada por ecografía ( $r = 0,82$ ;  $P < 0,05$ ).

## **2.3. Bases fisiológicas de la secreción y la eyección de leche**

### **2.3.1. Síntesis y secreción de leche**

Las células epiteliales alveolares son las responsables de la síntesis de la mayoría de los componentes lácteos y de su secreción a la luz de los alvéolos. De esta forma la evolución de la producción de leche durante la lactación va a depender, en última instancia, del número de células epiteliales funcionales y de sus actividades de síntesis y de secreción (Wilde y Knight, 1989). En la actualidad se considera que son dos las vías de control sobre dichas células: un control sistémico, que actuará sobre la totalidad de la glándula mamaria, y un control local, que interviene sobre la unidad glandular (un cuarterón en vacuno y media ubre en ovino y caprino).

#### **2.3.1.1. Control hormonal sistémico**

La estimulación de la glándula mamaria durante el amamantamiento o el ordeño es de gran importancia para la misma, como consecuencia de la liberación de las hormonas lactogénicas en la hipófisis.

Las hormonas que intervienen en el metabolismo de los nutrientes, influyen en el aporte sanguíneo de los precursores y componentes lácteos, y por tanto en la actividad de las células epiteliales.

El complejo hormonal galactopoyético, que asegura una óptima producción en los rumiantes, está básicamente formado por hormonas hipofisarias (prolactina y hormona de crecimiento), tiroideas (tiroxina) y corticoadrenales (cortisol) (Akers, 1985; Tucker, 1994, 2000; Akers, 2002). Según Chilliard *et al.* (1995), las hormonas galactopoyéticas están además implicadas en la regulación del flujo de nutrientes entre tejidos. Estas hormonas actúan en la síntesis y la degradación a nivel de los tejidos periféricos (adiposo y muscular) o en la transformación hepática de algún precursor (por neoglucogénesis, ureogénesis y cetogénesis) para mantener el equilibrio en el interior del medio (homeostasis) o para apoyar las funciones productivas (teleforesis). Las principales hormonas que afectan el desarrollo y funcionamiento de la glándula mamaria han sido resumidas en la Tabla 2.5.

Según Kann *et al.* (1977) la prolactina (PRL) favorece la síntesis y la secreción de los componentes lácteos, y también influye en el metabolismo de la grasa a través del tejido adiposo de la glándula mamaria. Hay un interesante contradicción en el posible papel de la PRL: mientras que muchas especies no pueden continuar una lactación previamente establecida sin PRL, en vacas lecheras (Akers, 2002) la liberación de la PRL durante el ordeño o amamantamiento varía en función de la producción de leche. La concentración de la PRL en sangre, recogida 5 minutos después del ordeño, es mayor al principio que al final de la lactación. Por ello, la tasa de secreción de la PRL en vacas está positivamente correlacionada con la producción de leche en los diferentes estados de la lactación. Una reducción de PRL disminuye sólo ligeramente la producción de leche en vacas (Plaut *et al.*, 1987) y en cabras (Knight *et al.*, 1990), mientras que su suplementación a corto plazo, por medio de la utilización de PRL recombinante, aumenta la producción de leche en la misma cantidad. Sin embargo, otros autores no han observado ningún efecto.

Para explicar la falta de efecto, se ha sugerido que la glándula mamaria de los rumiantes es particularmente ávida en secuestrar PRL cuando su concentración en plasma es baja (Knight, 2002). Por otro lado, también se ha propuesto que existe una producción local intramamaria de PRL. La hormona adenocorticotropa (ACTH), también liberada durante el ordeño (Denamur, 1965), participa, conjuntamente con la hormona glucocorticoide, en el mantenimiento de la lactación mediante el efecto general sobre el metabolismo, aumentando la respuesta a la PRL en la glándula mamaria.

Según Hart y Flux (1973), parece que en cabras lecheras se produce la liberación de la hormona de crecimiento (GH) durante el ordeño. Sin embargo, Knight *et al.* (1990) no confirmaron estos resultados en cabras ni en vacas lecheras (Kinght *et al.*, 1992).

El efecto simultáneo de la inyección de GH y el aumento de la frecuencia de ordeño es aditivo, lo que indica que estos dos estímulos galactopoyéticos operan a través de mecanismos independientes.

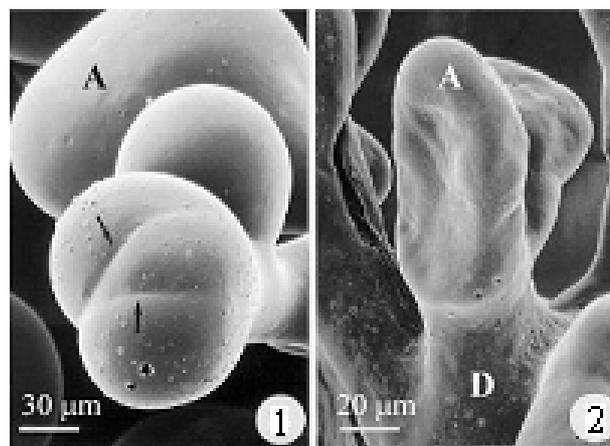
**Tabla 2.5.** Principales hormonas que afectan al desarrollo y funcionamiento de la glándula mamaria (Akers, 2002).

Glándula endocrina	Hormonas	Mayor efecto mamario
<i>Hipófisis anterior</i>	Hormona Adenocorticotropa (ACTH)	Estimula la secreción de cortisol en la glándula adrenal.
	Hormonas Folículo Estimulante (FSH)	Secreción de estrógenos
	Hormona de Crecimiento (GH)	Estimula la producción de leche
	Hormona Luteinizante (LH)	Secreción de progesterona
	Prolactina (PRL)	Lactogénesis, diferenciación celular, expresión de genes de proteína en leche.
	Hormona Tiroideo Estimulante (TSH)	Estimula la secreción de la tiroxina en el tiroides.
<i>Hipófisis posterior</i>	Oxitocina (OT)	Reflejo de eyección de leche
<i>Hipotálamo</i>	Hormonas liberadores de GH	Estimula la secreción de GH
	Somatostatina	Inhibe la secreción GH
	Hormona liberadora de Tirotropina	Estimula la secreción de TSH (también de PRL y GH)
	Hormona liberadora de Corticotropina	Estimula la secreción de ACTH
	Hormona inhibidora de PRL (Dopamina)	Inhibe la secreción de PRL
<i>Tiroides</i>	Tiroxina (T4) y Triiodotironina (T3)	Estimula el consumo de oxígeno y síntesis de proteína
	Tirocalcitonina	Metabolismo del Calcio y Fósforo
<i>Paratiroides</i>	Hormona paratiroideas	Metabolismo del Calcio y Fósforo
<i>Páncreas</i>	Insulina	Metabolismo de glucosa (varía con especies)
<i>Corteza adrenal</i>	Glucocorticoides (cortisol, corticoesterona)	Lactogénesis, diferenciación celular, expresión de genes de proteína en leche
<i>Médula adrenal</i>	Epinefrina	Inhibe el reflejo de eyección de leche (periférico)
<i>Ovario</i>	Estrógenos	Crecimiento de los conductos mamaros
	Progesterona	Desarrollo de los lóbulos alveolares mamaros; inhibición de lactogénesis
<i>Placenta</i>	Estrógenos	Crecimiento de los conductos mamaros
	Progesterona (depende de especies)	
<i>Lactógeno placentario</i>		Desarrollo mamario

La principal hormona galactopoyética en los rumiantes es la hormona del crecimiento (GH). Su aporte exógeno, en forma de bST, produce un aumento importante en la producción (hasta un 40%), tal como se ha descrito en vacuno lechero (Akers y Cleale, 1990; Bauman, 1999; Capuco *et al.*, 2001), caprino (Mepham *et al.*, 1984; Balde *et al.*, 2003) y ovino (Fernández *et al.*, 1995, 1997, 2001). Sin embargo, actualmente no está demostrado que la GH actúe directamente sobre la glándula mamaria, ya que una reducción de la GH endógena no parece disminuir la producción de leche. Respecto a la posible acción local de la GH, se han identificado mediante técnicas inmunohistoquímicas, unos receptores de la misma en las células secretoras mamarias, lo que abre la posibilidad de que la GH pueda tener también un efecto directo sobre la glándula mamaria, pero no ha podido demostrarse una unión significativa entre los receptores y la hormona (Sinowatz *et al.*, 2000; Plath-Gabler *et al.*, 2001). Se ha sugerido así que la GH puede actuar por medio de un mecanismo paracrino, que implica a los llamados factores de crecimiento análogos a la insulina (IGFs) y sus correspondientes proteínas de unión, IGFBP (Clemmons, 1998; Cohick, 1998). Un apoyo parcial a esta hipótesis se obtiene de los experimentos en ratas deprimidas previamente en GH y PRL, en las que la administración de GH directamente a la glándula mamaria produjo una recuperación local de la producción de leche de dicha glándula. Según Akers (2002) la GH endógena puede aumentarse por medio de la administración de su factor de liberación (GHRF), lo que produce un incremento en la producción de leche. Sin embargo la inmunización contra GHRF reduce la GH y la IGF1, aunque sin disminuir la producción de leche, tanto en cabras lecheras como en vacas de carne durante el periodo de cría. Se desconoce la explicación de este resultado.

Además, habría que tener en cuenta la oxitocina, que posee un marcado efecto galactopoyético, debido principalmente a que asegura el vaciado de los alvéolos (Fig. 2.6). Durante muchos años, el reflejo de eyección de leche fue considerado el único mecanismo de la glándula mamaria que producía la evacuación de la leche, siendo la oxitocina la única hormona capaz de aumentar la producción de leche a través del estímulo de dicho reflejo (Adams y Allen, 1952; Donker *et al.*, 1954; Hobbs *et al.*, 1982; Gorewit y Sagi, 1984; Bremel, 1985; Caja *et al.*, 2000). Además de su elaboración en el hipotálamo, almacenamiento en la hipófisis posterior y liberación durante el ordeño mecánico, la oxitocina se sintetiza, almacena y libera en el cuerpo lúteo (Wathes y Swann, 1982; Swann *et al.*, 1984), particularmente cuando está estimulada por las prostaglandinas, jugando un importante papel en el drenaje de la leche entre ordeños desde los alvéolos a las cisternas (Labussière *et al.*, 1993; Marnet y Labussière, 1994; McKusick *et al.*, 2002).

Para muchos autores, el aumento de la producción de leche, asociado a la inyección de oxitocina (Nostrand *et al.*, 1991), puede ser explicado solamente por su acción mecánica mediante la contracción de las células mioepiteliales que rodean los alvéolos y los finos conductos alveolares, expulsando los productos de la síntesis de leche de los alvéolos (Da Costa *et al.*, 1995), y limitando el efecto negativo del aumento de la presión intra-alveolar sobre la secreción de leche. El efecto galactopoyético de la oxitocina puede también ser explicado por la estimulación directa del flujo de sangre que llega a la glándula (Fleet *et al.*, 1993), probablemente como consecuencia del efecto de vasopresión de la oxitocina, aumentando la cantidad de nutrientes y hormonas lactógenas presentes en la glándula.



**Figura 2.6.** Microscopia electrónica del alvéolo mamario (A) y de los ductos (D) antes (1) y después de la eyección de leche (2) en vacas lecheras (Caja *et al.*, 2000).

Así mismo, diversos autores han discutido la posibilidad de que la oxitocina, además de su efecto clásico en la contracción de las células mioepiteliales y el drenaje de leche de los alvéolos a las cisternas, pueda tener también un efecto directo en sobre las células alveolares y el proceso de secreción de dicho epitelio (Ballou *et al.*, 1993). Nostrand *et al.* (1991) demostraron que la inyección a largo plazo de oxitocina en vacas lecheras aumentó la producción de leche (+11,6%), particularmente durante la fase descendente de la lactación. Estos resultados demuestran el efecto galactopoyético de la oxitocina, incrementándose la persistencia de la curva de lactación. Por lo tanto, la oxitocina puede tener una acción sobre las células mamarias, induciendo la diferenciación y la proliferación celular, tal como se ha observado en la glándula mamaria de ratas no lactantes (Sapino *et al.*, 1993).

Además, Ollivier-Bousquet (1976) demostró, *in vitro*, que la adición de oxitocina produjo un aumento del tránsito intracelular de la caseína, incrementándose su secreción en la

glándula mamaria de conejas lactantes. El aumento de dicha tasa de secreción no puede ser solamente consecuencia del efecto de la contracción de las células mioepiteliales, ya que el transporte intracelular de la proteína entre el retículo endoplasmático, el aparato de Golgi y las vesículas secretoras también se vio afectado.

Recientemente, se ha observado un doble efecto de la oxitocina sobre los tejidos mamarios durante la lactación: además de su efecto clásico en la contracción de las células mioepiteliales y el drenaje de leche de los alvéolos a las cisternas, también puede tener un efecto directo sobre la secreción del epitelio glandular mamario (Lollivier *et al.*, 2002). En primer lugar, demostraron que la oxitocina produjo una liberación rápida de la caseína a la luz de los alveolos, determinada mediante el tránsito de los marcadores denominados GP58 y anexina II (Donnelly y Moss, 1997). Según estos autores, la localización de los marcadores en la parte apical de la célula alveolar puede confirmar que la oxitocina influye durante todo el proceso de la secreción de la proteína. Al mismo tiempo, observaron también la localización de los glóbulos grasos en la parte apical de la célula epitelial, como resultado del efecto de la oxitocina. En el mismo contexto, se ha observado que los receptores de la oxitocina están localizados alrededor del epitelio mamario en el caso de las mujeres lactantes (Kimura *et al.*, 1998), indicando que la oxitocina debe tener un efecto fisiológico directo sobre la actividad secretora. En el modelo mamario señalado anteriormente no existe un compartimiento cisternal, por lo que aún queda por confirmar esta receptividad a la oxitocina en la glándula mamaria de los rumiantes.

En este mismo sentido, Bruckmaier *et al.* (1994b) y Bruckmaier y Blum (1998) señalaron que no es posible el drenaje de la fracción de leche residual (10-30% de la fracción retenida), salvo por medio de la inyección de dosis altas (>10 u.i.) de oxitocina exógena, por vía i.v. En la práctica lechera, la oxitocina exógena es utilizada en dosis elevadas para tratar animales con alteraciones en la eyección de leche. Recientemente, Bruckmaier (2003) señaló que el tratamiento crónico con oxitocina exógena reduce la eyección de leche en vacas lecheras.

El efecto de la oxitocina sobre la producción de leche es, por tanto, complejo y difícil de cuantificar en la actualidad. Por eso aún deben realizarse muchos trabajos en esta área de conocimiento, a diferentes niveles: célula, tejido y animal.

#### **2.3.1.2. Control local autocrino**

Actualmente se ha establecido claramente que, la estrategia sistémica de control de la lactación, se complementa con mecanismos que actúan de modo local sobre la glándula mamaria.

La secreción se realiza de forma continua, pero la evacuación lo hace sólo de modo discontinuo, por lo que la leche se acumula gradualmente en el interior de la glándula.

La existencia de factores estimuladores e inhibidores de la secreción de leche que actúan a nivel local, es decir intramamario, ha sido demostrada en diversas experiencias. Así, cuando se incrementa la frecuencia de ordeños en una unidad de la glándula mamaria, se observa un aumento de la producción tan solo en la unidad glandular tratada (Henderson *et al.*, 1983; Wilde y Knight, 1989). Desde hace años se sabe que la reducción de la actividad mamaria, como consecuencia de largos intervalos entre ordeños, no se debe a una elevación progresiva de la presión intracisternal, sino más bien a la acumulación de los productos de secreción en la luz de los alvéolos (Linzell y Peaker, 1971; Labussière *et al.*, 1976; Peaker, 1980; Davis y Hughson, 1989). En algunos casos, esta acumulación producirá suficiente presión para causar la disrupción física del epitelio secretor, con una pérdida concomitante de la secreción de leche.

Los lactocitos producen, además de la caseína, otras proteínas y péptidos en la leche. Se ha podido aislar así en la leche un componente proteico (FIL: Factor Auto inhibidor de la Lactación) que es liberado por las células epiteliales, y que actuaría como un mecanismo autocrino inhibitorio regulador de la actividad metabólica propia (Addey *et al.*, 1991; Rennison *et al.*, 1993; Peaker y Wilde, 1996).

El efecto del FIL fue descrito en primer lugar en cabras, demostrándose su capacidad de reducir la tasa de secreción de leche *in vitro* (Wilde *et al.*, 1987, 1989) e *in vivo* (Wilde *et al.*, 1988), cuando está en contacto con el epitelio alveolar (Peaker y Blatchford, 1988). En el mismo contexto, Knight (2002) señaló que la inyección de FIL en el interior de los conductos galactóforos de una glándula, reduce la secreción de leche de forma reversible sólo en esa glándula. La dilución de la leche almacenada en la ubre, mediante una infusión de solución inerte, incrementa la producción de leche y neutraliza la acción del FIL, aumentando la secreción y reduciendo el efecto negativo sobre la producción de leche.

Todas estas observaciones confirman la hipótesis de la existencia del FIL. Sin embargo, el mecanismo de acción del FIL no está todavía muy claro. Según Wilde *et al.* (1989), el FIL puede bloquear reversiblemente las vías de biosíntesis de la proteína de la leche en las células epiteliales mamarias, específicamente el transporte entre el retículo endoplasmático y el aparato de Golgi, y también entre los aparatos de Golgi. Así mismo, puede producir la inhibición de la síntesis de lactosa y de caseína, y estimular la degradación intracelular de caseína de nueva síntesis.

Por tanto, la mayor evacuación de la leche alveolar y, consecuentemente, del FIL, provocaría en las células epiteliales una mayor actividad secretora (Wilde y Knight, 1989).

Un aumento en la frecuencia de ordeño permitiría que el FIL fuera evacuado más frecuentemente, con lo que la secreción sería máxima durante más tiempo y la producción de leche aumentaría. El efecto contrario se produciría al disminuir la frecuencia de ordeño (Dewhurst y Knight, 1994).

Además de este efecto a corto plazo, también se ha comprobado que el aumento de la frecuencia de ordeño ejerce, a largo plazo, un efecto positivo sobre la producción de leche, como consecuencia del incremento en el número de células epiteliales alveolares (Henderson *et al.*, 1985; Knight y Wilde, 1993). Hillerton *et al.* (1990) demostraron que un aumento en el número de ordeños de 2 a 4 por día en vacas lecheras, produjo un incremento en la actividad enzimática y de síntesis de las células. Así mismo, los análisis histológicos mostraron un aumento del diámetro de los alvéolos y del tamaño de los lactocitos. En este sentido, es importante señalar que el FIL puede también regular el tamaño de la población de células secretoras, mediante el fenómeno de apoptosis (Quarrie *et al.*, 1995) o a través de la disminución de la sensibilidad de las células epiteliales mamarias a las hormonas galactopoyéticas, como la PRL, por una reducción del número de receptores (Bennett *et al.*, 1990). La cantidad de receptores de la PRL en la superficie de las células secretoras aumenta al evacuar más frecuentemente la leche, y disminuye al infundir FIL intraductalmente, lo que puede explicar los cambios en el desarrollo del tejido secretor mamario a largo plazo (Flint y Knight, 1997; Tonner *et al.*, 2000; Knight, 2002). Por tanto, es de esperar que cuando el ordeño mecánico sea incompleto o haya una reducción en la frecuencia de ordeños, se produzca un aumento en la acumulación de FIL en los alvéolos y una consiguiente disminución en la síntesis de leche.

Alternativamente, una completa evacuación de la leche en la ubre reduce, no tan sólo la acumulación de FIL en los alvéolos, sino también el efecto negativo de la elevación de la presión intraalveolar sobre la síntesis de leche. Así, un trabajo realizado en cabras lecheras pudo demostrar que después de 21 horas de acumulación de leche en la ubre, la elevación de la presión intramamaria provocó una degeneración del epitelio secretor alveolar debido a la ruptura de las uniones intracelulares (*tight junction*). El aumento de la permeabilidad de dichas uniones empezó a las 18-20 horas después del llenado de la ubre (Stelwagen y Knight, 1997), que coincide con el inicio de la disminución de la tasa de secreción de leche en cabras lecheras (Stelwagen *et al.*, 1994a) y en vacas (Davis *et al.*, 1998).

La ruptura de las uniones intracelulares produjo una modificación significativa en la composición química de leche, especialmente mediante un aumento de las proteínas séricas, el sodio y el cloro en la leche, y una disminución de la lactosa y el potasio (Stelwagen *et al.*, 1994ab).

Así mismo, la elevación fisiológica de la presión intramamaria produce una compresión en el epitelio secretor mamario, acompañada por un cambio mecánico en los alvéolos: perturbaciones en su citoesqueleto y en la expresión de los genes (Nikerson *et al.*, 1980; Davis *et al.*, 1999; Stelwagen, 2001). Todo ello interfiere en la secreción de leche y en el fenómeno de muerte celular (apoptosis). También es importante señalar que un aumento de la presión intra-mamaria entre ordeños reduce el flujo de sangre en la ubre en un 10%, después de 24 horas de llenado de la ubre en vacas lecheras (Guinard-Flament y Rulquin, 2001), y en un 50% después de 36 horas en cabras lecheras (Stelwagen *et al.*, 1994a), lo que reduciría el suplemento hormonal y nutricional de la ubre, produciendo una disminución de la tasa de secreción de leche (Peaker, 1980; Graf, 1968).

Por consiguiente, el drenaje de leche entre ordeños aumentará el flujo de sangre a la glándula mamaria en vacas y cabras lecheras (Reynold y Linzel, 1968; Houvenaghel *et al.*, 1973). Recientemente Lacasse y Prosser (2003) han mostrado, sin embargo, que el flujo de sangre no afecta a la síntesis de leche a corto plazo en cabras.

### **2.3.1.3. Influencia de la morfología interna de la ubre sobre la secreción de leche**

Está fuera de toda duda que la producción de leche se relaciona con la cantidad de tejido secretor en la glándula. Sin embargo, dado que la leche se almacena en la glándula antes de ser evacuada, tal se ha descrito previamente, el interior de la ubre de los rumiantes lecheros se ha adaptado, mediante las cisternas, para que este almacenamiento sea tolerado durante largos periodos de tiempo.

Para que el efecto del FIL sobre la secreción de leche sea eficaz, éste debe estar en contacto directo con las células secretoras, tal como se ha mencionado anteriormente. Por eso, la leche que se ha alejado del epitelio secretor hacia el seno cisternal no tiene actividad inhibidora (Wilde *et al.*, 1995). En consecuencia, se podría predecir que la capacidad de almacenamiento de la glándula y, específicamente, la relación entre la leche almacenada y el tejido secretor, debería influir en la tasa de secreción. Sin embargo no se han encontrado evidencias de que esto sea así, a pesar de que muchos autores han estudiados la distribución de la leche en los diferentes compartimentos de la ubre de los rumiantes y los cambios que ocurren a lo largo

del tiempo después del ordeño (Knight *et al.*, 1994a; Davis *et al.*, 1998; Rovai *et al.*, 2002; McKusick *et al.*, 2002; Ayadi *et al.*, 2003a).

Desde el punto de vista de la acción del FIL y de los efectos de la frecuencia de ordeño sobre la secreción de leche, dos cuestiones son especialmente importantes (Knight, 2002). Primero, el modo cómo la leche desciende durante la primera hora después del ordeño desde el compartimento alveolar al cisternal, influirá en el grado en que esta leche limitará el efecto inhibitor del FIL. En segundo lugar, la relación entre almacenamiento alveolar y cisternal, en largos intervalos entre ordeños, influirá en el grado de actuación del FIL. Según Knight y Dewhurst (1994), el flujo inicial de leche después del ordeño no está relacionado con el volumen de leche residual retenida durante este ordeño, así como tampoco con la producción total de leche de la vaca. Este flujo es incluso relativamente constante entre vacas en el mismo estado de lactación, siendo significativamente superior en vacas al final de lactación respecto a vacas al inicio de la lactación.

La proporción de leche cisternal a las 8 h post ordeño es muy variable entre vacas, pero tiende a ser mayor en las vacas multíparas al final de la lactación (Dewhurst y Knight, 1993). Estas observaciones sugieren que las vacas jóvenes en el pico de lactación son más susceptibles a sufrir una disminución de la producción de leche cuando el ordeño es menos frecuente o menos eficiente. Comparando la producción de leche de los rumiantes, se ha podido demostrar que, para una masa dada de tejido secretor, las ubres con grandes cisternas producen más leche y toleran mejor los largos intervalos entre ordeños en vacas (Knight y Dewhurst, 1994), cabras (Peaker and Blatchford, 1988; Salama *et al.*, 2003) y ovejas lecheras (Labussière, 1988; Rovai *et al.*, 2000; McKusick *et al.*, 2002), y por consiguiente presentan una menor respuesta productiva frente a un aumento de la frecuencia de ordeño, debido a que deben estar menos afectadas por la acción del FIL.

### **2.3.2. Eyección de leche**

El reflejo neuroendocrino de eyección de leche es, sin duda, el condicionante fisiológico más importante para lograr un adecuado vaciado de la ubre (Lincoln y Paisley, 1982; Crowley y Armstrong, 1992). Aunque puede desencadenarse por estímulos sensoriales, normalmente es inducido por el ordeño o el amamantamiento de los terneros, a través de la estimulación física de las fibras nerviosas sensitivas que se concentran mayoritariamente en el pezón. Cuando este reflejo está ausente o inhibido, por ejemplo inmediatamente después del parto (Bruckmaier *et al.*, 1992) o después del destete (Akers y Lefcourt, 1982; Marnet y Negro, 2000), sólo se obtiene la fracción de leche cisternal.

Por lo tanto, en el inicio del ordeño, la leche se encuentra a dos niveles: una primera fracción situada en las cisternas y en los grandes conductos galactóforos (*leche cisternal*), que corresponde a la leche fácil de extraer por simple aspiración o presión a nivel del pezón, y una segunda fracción que se encuentra en la región alveolar y en los finos conductos lobulares (*leche alveolar*), que corresponde a la leche de difícil extracción y que para ser obtenida durante el ordeño debe descender hacia las cisternas de la ubre (eyección) gracias a la participación activa del animal mediante una serie de mecanismos fisiológicos.

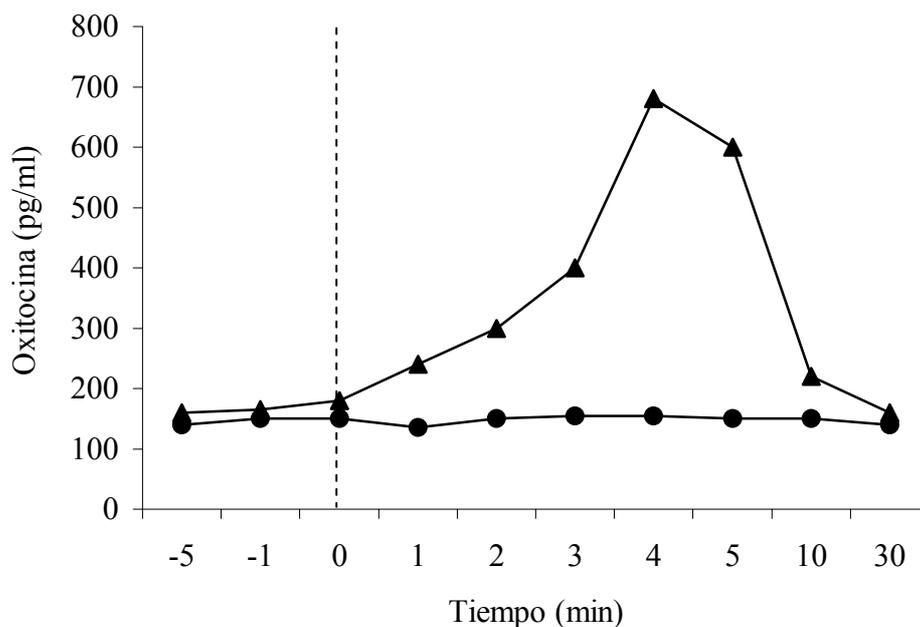
Para ello, los estímulos sensoriales son transmitidos hasta el encéfalo, produciendo una liberación de oxitocina en la neurohipófisis. Dicha hormona, a través del torrente sanguíneo, llega hasta la glándula mamaria y produce la contracción de las células mioepiteliales que rodean los alvéolos y los finos conductos alveolares. Este hecho fuerza el descenso de la leche a través de los conductos galactóforos hacia las cisternas de la glándula y del pezón (Ely y Petersen, 1941; Wakerly *et al.*, 1994). Todo el proceso descrito suele tener una duración de unos 16-29 segundos según las especies (Labussière, 1993).

En vacuno lechero, durante los 2 primeros minutos de colocación de las pezoneras, la concentración plasmática de oxitocina aumenta rápidamente, y después baja lentamente hasta alcanzar su concentración basal a los 10-15 minutos del inicio del ordeño (Lefcour y Aker, 1983; Bruckmaier *et al.*, 1994b; Lollivier *et al.*, 2002). Estos resultados confirman la importancia en vacas lecheras de una concentración elevada y continua de oxitocina durante el ordeño, para tener una mejor eyección de leche, y por tanto un drenaje de los alvéolos a las cisternas lo más completo posible, manteniendo un elevado flujo de leche durante ordeño (Bruckmaier *et al.*, 1994b; Pfeilsticker *et al.*, 1996; Bruckmaier y Blum, 1996). Sin embargo, en las especies con mayor tamaño cisternal, como la oveja y la cabra, aunque la descarga de oxitocina endógena es también importante para el drenaje de la leche, el tiempo de dicha descarga y su circulación periférica es de menor relevancia, gracias precisamente a su mayor fracción de leche cisternal (Bruckmaier *et al.*, 1994b). Un retraso de la eyección de la leche en vacuno al comienzo del ordeño se observa por la presentación de curvas de emisión de leche bimodales (2 picos), debido a un flujo de leche reducido o interrumpido tras la evacuación de la leche cisternal antes de que la leche alveolar esté disponible (Labussière *et al.*, 1969; Bruckmaier y Blum, 1996).

La utilización de nuevas técnicas para medir la concentración de la oxitocina en sangre y su aplicación en animales lecheros, ha sido muy importante para comprender adecuadamente la conexión existente entre la fisiología del individuo, el sistema neuronal, y el sistema endocrino.

La liberación de oxitocina durante el ordeño o el amamantamiento fue inicialmente descrita por Ely y Petersen (1941), y verificada en rumiantes mediante bioensayo (Fitzpatrick, 1961), radioinmunoensayo o RIA (Schams, 1983) y, recientemente, por ELISA (Marnet *et al.*, 1994). Las experiencias realizadas en vacuno para medir la concentración de oxitocina, mediante RIA, han podido destacar una variación muy importante en la respuesta de la oxitocina al ordeño mecánico o al amamantamiento.

En cabras y vacas casi un 40% de los animales no presenta variaciones importantes en la concentración de oxitocina como consecuencia del estímulo del ordeño. La Figura 2.7 describe el cambio de dicha concentración en sangre de 2 vacas lecheras después de 4 minutos de ordeño mecánico. Mientras que en el primer animal se presentó un gran incremento de la concentración de oxitocina en la sangre, en el segundo casi no hubo modificaciones, aunque la producción lechera fue normal en ambas vacas (Lefcote y Akers, 1983).



**Figura 2.7.** Evolución del contenido en oxitocina del suero medida en dos vacas antes y después del ordeño (Lefcote y Akers, 1983).

Esto demuestra claramente la diferencia existente entre animales en relación al grado de descarga de oxitocina durante el ordeño necesario para la eyección de leche, y por tanto confirma la presencia de otros factores fisiológicos que pueden afectar el drenaje de leche de los alvéolos a las cisternas, independientemente de la oxitocina.

El reflejo de eyección de leche también tiene efectos sobre la calidad de leche obtenida por ordeño. En vacas lecheras, la concentración en grasa de la leche aumenta con la descarga de oxitocina ya que al final del ordeño se realiza el drenaje de la leche alveolar, que es 2,5 a 5 veces más rica en grasa que la fracción cisternal (Labussière, 1985; Waldmann *et al.*, 1999; Guinard-Flament *et al.*, 2001).

Al contrario, la eyección de leche no afecta apreciablemente el contenido en proteína y lactosa, ya que las diferencias entre las fracciones cisternal y alveolar son mínimas (Labussière, 1985; Davis *et al.*, 1998).

### **2.3.3. Inhibición de la eyección de leche**

El control de la inhibición total o parcial del reflejo de eyección de leche se realiza mediante la activación del sistema simpático-adrenal (médula adrenal y sistema nervioso simpático). Según Wellnitz y Bruckmaier (2001), dicha inhibición se presenta a dos niveles: 1) una inhibición central, que ocurre cuando hay disfunción del reflejo de eyección, particularmente entre la estimulación a nivel del pezón y la liberación de oxitocina en la hipófisis posterior y su eventual circulación hacia la glándula mamaria, y 2) una inhibición periférica de la eyección de leche que se produce cuando, a pesar de existir una liberación normal de la oxitocina, el drenaje de leche de los alvéolos a las cisternas no es normal como consecuencia de un reducido efecto de la oxitocina en la glándula mamaria. La inyección de oxitocina exógena ha sido utilizada para diferenciar entre ambos mecanismos.

Como ejemplo de situaciones donde hay inhibición central del reflejo de eyección de leche se puede señalar: amamantamiento con crías extrañas (Silveira *et al.*, 1993; Marnet y Negro, 2000), ordeño de hembras primíparas inmediatamente después del parto (Bruckmaier *et al.*, 1992) o recién destetadas (Akers y Lefcote, 1982; Tancin *et al.*, 1995; Marnet y Negro, 2000), animales en estro (Bruckmaier y Blum, 1994) o ordeñándose en condiciones inhabituales (Bruckmaier *et al.*, 1993, 1996; Marnet y Negro, 2000). En todos estos casos se produce un bloqueo de la liberación de oxitocina en la adenohipófisis (Dyusembin, 1978), siendo posible reestablecer el reflejo de eyección de leche mediante una inyección intravenosa de oxitocina exógena a una baja dosis (0,2 UI) por vía endovenosa.

La inhibición periférica del reflejo de eyección de leche engloba diferentes mecanismos fisiológicos que impiden el acceso de la oxitocina a la glándula mamaria (Gorewit y Armando, 1985), bloquean los receptores de oxitocina (Bisset *et al.*, 1967; Bruckmaier *et al.*, 1997b), o dificultan el descenso de la leche de los alvéolos a las cisternas durante el ordeño como consecuencia de una alta concentración de oxitocina (Bruckmaier *et al.*, 1997b).

La modificación periférica del drenaje de leche se produce mediante la variación de los tonos de la musculatura lisa del tejido alveolar y de los conductos de leche del pezón (Lefcourt y Akers, 1984).

En vacas lecheras el sistema adrenérgico es un moderador muy importante de la eyección de leche. Peeters *et al.* (1973) señalaron la presencia de receptores  $\alpha$  y  $\beta$ -adrenérgicos a nivel de las fibras musculares del pezón. Diversos autores han identificado la presencia de 3 tipos de receptores:  $\alpha_1$  (Roets y Peeters, 1985),  $\alpha_2$  (Roets y Peeters, 1986), y  $\beta_2$  (Roets *et al.*, 1985), en los tejidos alrededor de las cisternas glandulares y de los conductos galactóforos, además de las fibras musculares del pezón (Hammon *et al.*, 1994).

Según los mismos autores, los tejidos del parénquima glandular poseen menos receptores  $\alpha$ -adrenérgicos que las regiones periféricas. La respuesta a la estimulación simpática del tejido está relacionada con la densidad y la relación entre los receptores  $\alpha_2$  y  $\beta_2$ -adrenérgicos a nivel de la musculatura del pezón (Vandeputte *et al.*, 1986; Adams, 1988), y la aptitud al ordeño mecánico es mejor en vacas con una relación  $\beta_2 : \alpha_2$  baja a nivel del pezón (Roets *et al.*, 1986). La estimulación de estos receptores provoca una liberación local de adrenalina y noradrenalina. Estas dos sustancias adrenérgicas, cuando actúan sobre los receptores  $\alpha$  de las células musculares lisas, provocan su contracción y una disminución del tamaño de las cisternas (Bruckmaier y Blum, 1992) y una vasoconstricción general (Bevilacqua *et al.*, 1991). Sin embargo, cuando actúan sobre los receptores  $\beta$ , producen el relajamiento de las fibras musculares alrededor de las cisternas (Bruckmaier y Blum, 1992), aumentando el drenaje de leche (Bernabé y Ricordel, 1985; Blum *et al.*, 1989; Bruckmaier *et al.*, 1991). De esta forma el sistema adrenal-simpático controla el tono (grado de contracción) de la musculatura lisa, el grado de vasoconstricción, y la dilatación de los conductos galactóforos, cisternas de la glándula y del pezón, y del esfínter de este último (Lefcourt y Akers, 1983; Goodman y Grosvenor, 1983; Bruckmaier y Blum, 1992).

Las investigaciones realizadas por Wellnitz y Bruckmaier (2001) han podido demostrar que, bajo condiciones normales de ordeño, el control periférico del drenaje de leche en vacuno lechero es menos importante en comparación a la inhibición a nivel central del reflejo de eyección de leche.

La inhibición del reflejo de eyección de leche se ha utilizado para perfeccionar la medida del fraccionamiento de la leche en la ubre (alveolar y cisternal). Dicha inhibición se consigue por diversos métodos. Knight *et al.* (1994b), propusieron el ordeñado de cabras lecheras en condiciones inhabituales (estrés).

En el mismo contexto, Davis *et al.* (1998), inyectaron a vacas lecheras una catecolamina (adrenalina) antes de ordeño normal, para separar la leche cisternal de la leche alveolar. Otros productos farmacéuticos más fiables pueden ser utilizados, como el Atosiban® (bloqueante de la oxitocina), caracterizado por su baja afinidad hacia los receptores de la oxitocina y que se puede desplazar de los mismos fácilmente, permitiendo una inhibición momentánea de la eyección de leche (Melin, 1994). Según los trabajos de Bruckmaier *et al.* (1997) y Wellnitz *et al.* (1999), la dosis de Atosiban® más apropiada en vacas lecheras es de 10 µg / kg de peso vivo. Este producto se caracteriza por una media vida de 18 minutos. La utilización de Atosiban® permite obtener, con gran fiabilidad, las fracciones de leche cisternal y alveolar en la ubre, por lo que se considera un método muy eficaz para la evaluación de los animales que pueden ser fácilmente estimulados. Estos resultados se han confirmado en vacas (Ayadi *et al.*, 2003a) y en ovejas lecheras (Rovai *et al.*, 2002; McKusick *et al.*, 2002).

La utilización de un bloqueante de los receptores de la oxitocina en especies lecheras tiene un importante papel en la valoración precisa de las diferentes fracciones de leche en la ubre, ya que los animales, al entrar en la sala de ordeño o ante cualquier manipulación del pezón (por ejemplo la sonda de ecógrafo), pueden ser estimulados y iniciar el fenómeno de la eyección de la leche.

#### **2.3.4. Estimulación y vaciado de la ubre en el ordeño**

##### **2.3.4.1. Ordeño convencional**

La estimulación del reflejo de eyección en la vaca es necesaria para que el ordeño sea eficaz. Así, la importancia que tiene el reflejo de eyección de leche explica la necesidad de realizar una buena preparación de la ubre antes de la puesta de las pezoneras, lavándola y extrayendo, eventualmente, los primeros chorros de leche (Hamann y Dodd, 1992). Labussière *et al.*, (1975) indicaron que una vaca necesita entre 10 y 30 segundos de masaje para presentar el estímulo de eyección. Si el tiempo de masaje es insuficiente, se incrementa la fracción de leche retenida en las partes superiores de la ubre.

En el ordeño convencional, se realiza a menudo un estímulo táctil del pezón antes del comienzo del ordeño, para evitar el retraso en la eyección de la leche. Esta preparación puede ser manual o mecánica de la pezonera (Bruckmaier y Blum, 1998). No se ha observado una liberación condicionada de oxitocina mediante diversos estímulos ópticos o acústicos relacionados con el ordeño (Bruckmaier, 1988).

Sin embargo, según Johansson *et al.* (1999) se puede esperar un efecto positivo en la descarga de oxitocina y en la eyección de leche si se realiza un suministro de concentrado durante la pre-estimulación y el ordeño. En el mismo contexto, Labussière (1966; 1993) señaló que las vacas lecheras se estimulan en la sala de espera con el sonido de las maquinas de ordeño y con la presencia del ordeñador. Estos resultados fueron confirmados en cabras lecheras por Knight *et al.* (1994b) y en ovejas lecheras por Rovai *et al.* (2001).

Además, el intervalo de tiempo que transcurre entre el masaje de la ubre y la puesta de pezoneras puede afectar el rendimiento lechero, ya que éste debe ser corto para aprovechar el efecto breve y benéfico de la oxitocina endógena, que se metaboliza en unos 4 minutos (Labussière, 1966; 1993). Según Bruckmaier *et al.* (1991), la presión intra mamaria a nivel de la ubre se mantiene estable durante al menos los primeros 10 min y después comienza a descender. Así, al aumentar el intervalo de tiempo anterior a la puesta de pezoneras, la leche remanente en los acinis puede ser difícil de extraer. Esto es debido a la relajación de las células mioepiteliales, consecuente con la pérdida del efecto de la oxitocina endógena, produce una aspiración de la leche cisternal hacia las partes superiores de la ubre, en un fenómeno conocido como reflujo cisternal o *cisternal recoil* (Knight, 1994). Este fenómeno es muy difícil de medir y hay muy pocas referencias sobre él.

Linzell (1955) fue el primero en demostrar la existencia de un reflujo de leche desde los conductos galactóforos a los alvéolos, en ratón, después de la eyección de leche, y lo denominó reflujo elástico (*elastic recoil*). Del mismo modo, Linzell (1955) consideró que el reflujo de leche de las cisternas de las ubres de la vaca lechera es un fenómeno equivalente al reflujo elástico, no logrando resultados que confirmaran esta hipótesis.

Muchos trabajos han observado una pérdida de producción de leche cuando el ordeño se retrasa después de la estimulación de la ubre en vacas lecheras. Labussière (1993) señaló que si la leche disponible en la ubre no se evacua antes de la desaparición del reflejo de eyección, se producirá una pérdida en la producción lechera. Así, este reflujo cisternal de leche puede llegar a disminuir entre 5-16% la leche ordeñada si transcurren más de 2-6 minutos, respectivamente, entre el masaje de la ubre y la puesta de pezoneras (Labussière, 1981). La disminución de la producción de leche, tras un tiempo de espera de 16 minutos, fue confirmada por varios autores (Murray y Lightbody, 1962; Mayer *et al.*, 1984). Sin embargo, Phillips (1984) no observó ningún efecto negativo sobre la producción de leche si la colocación de las pezoneras se retrasa de 3 a 12 minutos. En el mismo contexto, Pfeilsticker *et al.* (1996) señalan que el fenómeno del reflujo cisternal puede ocurrir antes de 15 minutos de la estimulación de la ubre, no observando ninguna diferencia significativa en la cantidad de

leche cisternal y en la producción de leche después de una estimulación de los pezones 15, 60 ó 120 minutos antes del ordeño.

El conocimiento de las causas de reducción de la producción de leche si se prolonga el tiempo entre la eyección de leche y el vaciado de la ubre, puede jugar un papel muy importante en la mejora de la rutina del ordeño de la producción en las vacas lecheras. Así, la reducción del número de vacas por grupo en la sala de espera antes del ordeño, o la introducción de nuevas tecnologías como el Sistema de Ordeño Robotizado (AMS) en algunas granjas intensivas de vacuno lechero, puede reducir el tiempo de espera de las vacas antes del ordeño, y por tanto, el tiempo entre la eyección de leche y la evacuación de leche de la ubre, a fin de optimizar el efecto de la oxitocina endógena.

#### **2.3.4.2. Ordeño robotizado**

La idea de automatizar completamente el proceso de ordeño ha estado en la mente de muchos durante al menos los últimos 25 años. Varios esfuerzos pioneros mostraron su posibilidad, pero fue sólo a finales de los años ochenta cuando se dio un paso importante hacia la automatización total del ordeño, gracias al desarrollo de sistemas automáticos de colocación de pezoneras (Ipema *et al.*, 1992). Se necesitaron varios años más para mejorar estos sistemas de ordeño automático (AMS), a fin de que pudieran aplicarse con suficiente fiabilidad en granjas comerciales. Al final de la década de los noventa, ya se vendieron a ganaderos un número significativo de equipos AMS, con lo que esta fecha puede considerarse el momento clave de expansión de los AMS (Rasmussen y Lind, 1999). Hoy en día, se ordeña automáticamente en más de 1150 granjas de todo el mundo, y este número crece rápidamente (De Koning, 2002). En el contexto español, los primeros robots de ordeño se instalaron en Cataluña y Navarra en el año 2000. Desde entonces, casi 65 equipos se han instalado en condiciones algo distintas a las habituales en Europa (Caja *et al.*, 2002). Se espera que se incrementen con rapidez hasta llegar al 3-5% de las explotaciones de vacas lecheras en el próximo decenio.

Los AMS pueden dividirse en sistemas monoplaza y multiplaza. Los sistemas monoplaza se caracterizan por un sistema robotizado y de ordeño integrado, mientras que los sistemas multiplaza constan un brazo robotizado para la colocación de las pezoneras y distintas plazas de ordeño o preparación de la ubre individuales. Un AMS monoplaza es capaz de ordeñar de 50-60 vacas hasta tres veces al día. Los sistemas multiplaza tienen de 2-4 puestos y son capaces de ordeñar de 80-150 vacas tres veces al día (Casal y Ayadi, 2002). En los AMS el flujo de los animales suele ser voluntario y la propia vaca determina sus visitas de ordeño.

Por lo tanto, el ordeño se realiza de forma casi continua a lo largo del día. Sin embargo, es el control humano el que decide si el ordeño se realiza o no durante la visita de la vaca al AMS.

Según Marnet (2000) la descarga de la oxitocina endógena en los AMS puede ser menor que en el caso de los sistemas de ordeños convencional. En los AMS, los pezones se limpian mediante agua y toallas o cepillos. El efecto estimulador de la limpieza del pezón mediante cepillos rotativos o toallas fue investigado en varios tipos de AMS para confirmar la existencia de una descarga suficiente de oxitocina para inducir la eyección de leche en vacas lecheras. Schuiling (1992) concluyó que el uso de un cepillo rotativo tiene un efecto positivo en la bajada de la leche. Todo parece indicar que, en vacas habituadas, el cepillado de los pezones y de la ubre inducen una descarga de oxitocina y una eyección de leche alveolar comparable a la pre-estimulación manual o mecánica en el ordeño convencional (Macuhova y Bruckmaier, 2000).

Según los mismos autores, cuando el cepillado dura del orden de 60 segundos o más, la aparición de curvas bimodales de caudal de leche (2 picos), que indican en vacuno una evacuación separada de la leche cisternal y alveolar debido a un retraso en la eyección de leche, se minimizan. En contraste, la puesta de pezoneras sin limpieza previa da lugar a una curva de emisión de leche bimodal en el primer cuarto colocado. Debido a que el ordeño empieza inmediatamente después de la puesta de pezoneras en cada cuarto, el efecto estimulador de la colocación de la primera pezonera induce la eyección de la leche en el resto de los cuartos y, como consecuencia, las curvas de emisión de leche de los cuartos que se colocaron últimos no suelen ser bimodales (Macuhova y Bruckmaier, 2000; Bruckmaier, 2002). Por último, la limpieza mecánica en el AMS provoca la descarga de oxitocina e induce la eyección de leche. Sin embargo, la duración de la limpieza debe ser la necesaria para proporcionar una pre-estimulación suficientemente larga.

Como ya se ha comentado anteriormente, la cantidad de leche cisternal disponible en la ubre antes de la eyección de leche, es muy pequeña en todas aquellas situaciones en las que el grado de llenado de la ubre es bajo, es decir, durante las primeras horas después del último ordeño (Knight *et al.*, 1994a) y al final de la lactación (Pfeilsticker *et al.*, 1996).

Se ha observado además, que la presentación de la eyección de la leche se retrasa hacia el final de la lactación y cuando el tiempo después del ordeño anterior es corto (Mayer *et al.*, 1991; Bruckmaier y Hilger, 2001). Por consiguiente, la eyección de leche se produce tarde si hay poca leche cisterna, y como consecuencia, el ordeño se produce sobre pezones vacíos hasta que se produce dicha eyección.

La razón del retraso de la eyección de leche no es una liberación retardada o reducida de la oxitocina, sino que se ha observado la existencia de una reacción tardía de dicha hormona a nivel de la glándula mamaria al disminuir la cantidad de leche almacenada en la ubre (Bruckmaier *et al.*, 1994; Bruckmaier y Hilger, 2001). Intervalos entre ordeños inferiores a 8 h no son habituales en sistemas de ordeño convencionales, pero sí son frecuentes en el ordeño con AMS. El retraso en la eyección de leche se produce independientemente de si éste es debido a una reducida producción al final de la lactación o a un corto intervalo entre ordeños (Bruckmaier y Hilger, 2001). Según estos autores, la eyección tras el inicio de la estimulación de los pezones se produce a  $50 \pm 5$  s al principio de la lactación y  $71 \pm 4$  s al final de la lactación para un intervalo entre ordeños de 12 h; sin embargo se produce a  $73 \pm 4$  s al inicio de la lactación y  $91 \pm 9$  s al final de la lactación, para un intervalo de 4 h, respectivamente.

Es importante señalar que el tiempo de retraso hasta que se presenta la eyección de leche es similar en animales de diferente nivel productivo para el mismo estado de lactación (Wellnitz *et al.*, 1999) y grado de llenado relativo de cada ubre, que resulta similar, porque las ubres poco productoras tienen una menor capacidad de almacenamiento.

En el mismo contexto, Bruckmaier (2002) señaló que, en el caso de alvéolos parcialmente llenos, se necesita una mayor contracción de las células mioepiteliales, y por consiguiente más tiempo, para conseguir que la leche alveolar pase a los conductos galactóforos y a las cisternas. Sólo si el alvéolo está muy lleno, la contracción de las células mioepiteliales produce inmediatamente la eyección de leche. Se comprobó que el tiempo transcurrido desde la estimulación del pezón hasta que se produce la eyección, es de aproximadamente 3 minutos en condiciones de muy bajo llenado de la ubre (Bruckmaier y Hilger, 2001). Por último, para una evacuación óptima de la leche resulta crucial que se evite el ordeño de pezones vacíos y que la eyección de leche se produzca antes de que se haya evacuado completamente la leche cisternal. La duración de la limpieza de los pezones en un AMS debe adaptarse al estado de lactación y al intervalo real desde el ordeño anterior para cada vaca de forma individual, con objeto de que el tiempo de retraso esperado en la eyección de leche sea el adecuado.

La introducción de los AMS en las granjas de vacuno lechero produjo un cambio significativo en la composición química de leche (Klungel *et al.*, 2000). Según estos autores, con el AMS aumenta la producción de leche, pero hay una disminución en grasa y proteína y un aumento en el recuento de la leche en células somáticas (RCS) y en ácidos grasos libres. El grado real de llenado de la ubre en cada ordeño afectó, además de la producción, la composición de la leche evacuada.

La variación más importante se observa en el contenido en grasa de la leche. Así, Weiss *et al.* (2002) encontraron que el contenido en grasa de la leche se modifica en función del grado de llenado de la ubre, siendo bajo en ubres muy llenas y alto en ubres vacías. Una variación a corto plazo en la composición de la leche, debido a los distintos intervalos entre ordeños de un AMS, se compensa en la leche del tanque, pero es necesario tenerlo en cuenta cuando se toman muestras de leche para el control de la composición química, bacteriológica y el estado sanitario de la ubre en cada vaca.

## **2.4. Fraccionamiento de leche en la ubre**

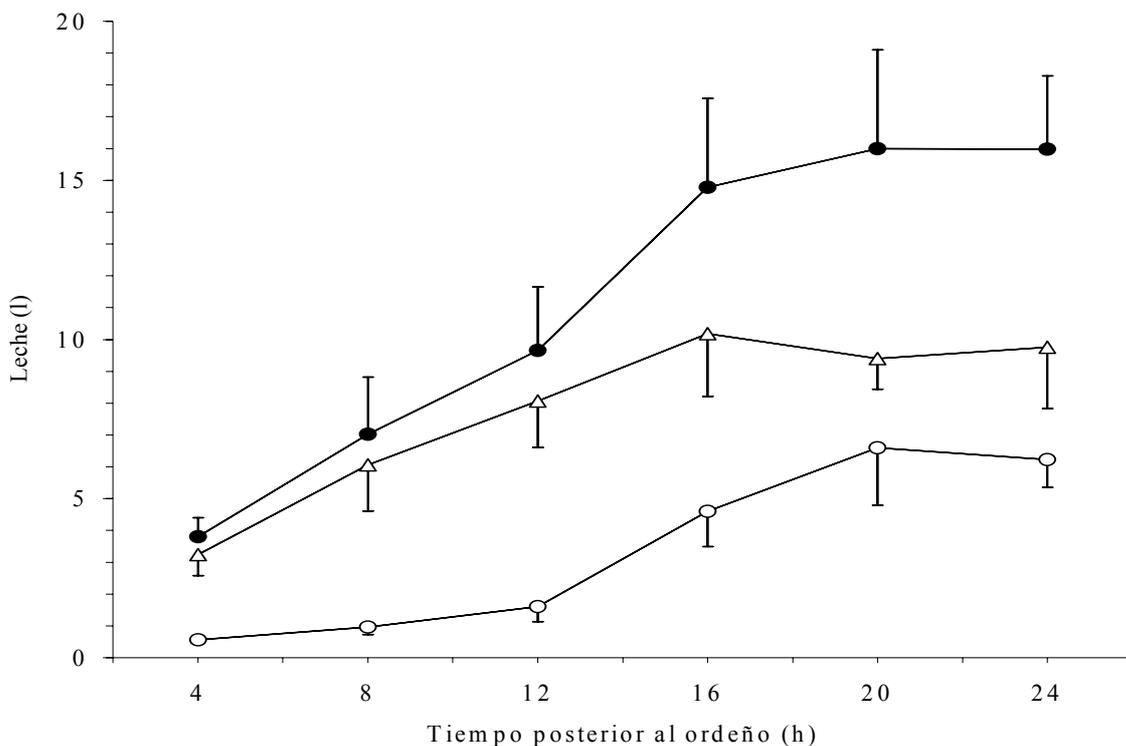
### **2.4.1. Reparto de leche en la ubre**

Como ya se ha comentado anteriormente, la leche se halla almacenada en la glándula mamaria según un modelo de dos compartimentos anatómicos, en forma de leche cisternal y leche alveolar. La leche cisternal representa aproximadamente un 20-35% del volumen total de la leche en vacas lecheras tras 12 horas de intervalo entre ordeños (Knight *et al.*, 1994a; Pfeilsticker *et al.*, 1996; Bruckmaier *et al.*, 1994a, Ayadi *et al.*, 2003a), mientras que en ovejas (Rovai, 2001; McKusick *et al.*, 2002) y cabras lecheras (Peaker y Blatchford, 1988; Knight *et al.*, 1994b) puede llegar a ser del 50 a 80%. La leche alveolar, de difícil extracción y que sólo puede ser obtenida mediante la estimulación de la ubre durante el ordeño o la inyección de oxitocina exógena, se encuentra retenida en los alvéolos y sometida a fuerzas de capilaridad (Zack, 1962; Bruckmaier *et al.*, 1993; Knight *et al.*, 1994a).

Muchos autores han estudiado la distribución de la leche en los diferentes compartimentos de almacenamiento en la ubre de los rumiantes, cuantificando los cambios que ocurren en función del tiempo transcurrido tras el ordeño, en vacas (Knight *et al.*, 1994a; Bruckmaier *et al.*, 1994; Stelwagen *et al.*, 1996; Davis *et al.*, 1998; Ayadi *et al.*, 2003a), en ovejas (Rovai, 2001; McKusick *et al.*, 2002), y cabras (Peaker y Blatchford, 1988; Knight *et al.*, 1994b).

Knight *et al.* (1994a) han construido un modelo matemático en vacas lecheras que describe el drenaje de leche desde los alvéolos a las cisternas durante un periodo de 20 horas, y han podido destacar que la leche secretada no aparece en las cisternas antes de 4-6 h después del ordeño. En el mismo contexto, Knight y Dewhurst (1994) señalaron que la fracción de leche alveolar se produce progresivamente y de una manera lineal en un intervalo entre ordeños de 12 h. Sin embargo, el descenso de la leche alveolar se produce en dos etapas: después del ordeño, una pequeña fracción de leche (aproximadamente 500 ml) se localiza a nivel de las cisternas, y tras 6 h el descenso de la leche se realiza más rápidamente.

Este modelo no fue confirmado por Stelwagen *et al.* (1996), que señalaron que las fracciones de leche cisternal y alveolar se acumulan en la ubre de manera lineal durante las primeras 6 h tras el ordeño. Sin embargo, Davis *et al.* (1998) señalaron que la capacidad de acumulación de leche, 6 - 8 h después del último ordeño, está determinada por el incremento del almacenamiento de leche en las cisternas. Por tanto, tras un intervalo entre ordeños de 16 h, el compartimento alveolar está lleno en un 90%, mientras que la leche sigue drenando al compartimento cisternal. Recientemente, Ayadi *et al.* (2003a) han descrito cómo se acumula la leche en los distintos compartimentos de la ubre en la vaca después del ordeño (Fig. 2.8), confirmando la teoría de Knight *et al.* (1994a). Así, la fracción de leche alveolar aumenta progresivamente de 4-16 h, y se satura después hasta las 24 h, mientras que la fracción de leche cisternal aumenta poco entre 4-12 h, y más rápidamente entre 12-16 h, hasta alcanzar un máximo a las 20 h, saturándose a partir de este momento.



**Figura 2.8.** Evolución de la leche cisternal (○), alveolar (Δ) y total (●) con diferentes intervalos entre ordeños en vacas lecheras (Ayadi *et al.*, 2003a).

Este distinto ritmo de saturación entre las dos fracciones de leche puede explicarse por el hecho de que, a partir de las 16 h, la leche secretada no se almacena en la zona alveolar y sí en los conductos galactóforos y cisternas de la ubre.

La distribución de la leche cisternal y alveolar en diferentes intervalos entre ordeños ha sido muy poco estudiada en los pequeños rumiantes. En el caso de la cabra, las fracciones de leche cisternal y alveolar crecen de una manera lineal durante las primeras 6 h después del ordeño, lo que coincide con la teoría de Stelwagen *et al.* (1996) en vacas lecheras. Después de este tiempo, la fracción de leche alveolar se mantiene constante, mientras que la leche cisternal sigue creciendo de una manera lineal (Peaker y Blatchford, 1988). En el caso de la oveja, ambas fracciones de leche aumentan de manera lineal desde 4-20 h del último ordeño. Después, a partir de las 20 h, la leche alveolar se satura, y la leche cisternal sigue creciendo hasta las 24 h (McKussick *et al.* 2002). Por tanto, se puede concluir que la vaca, la cabra y la oveja tienen un similar mecanismo de drenaje de la leche alveolar hacia la cisterna, pero no presentan el mismo tiempo de llenado de los diferentes compartimentos.

El volumen de las fracciones de leche cisternal y alveolar aumenta con el intervalo entre ordeños. Así, 8 h después del último ordeño, la leche cisternal representa un 10-14% de la leche total en vacas adultas (Bruckmaier *et al.*, 1994a; Ayadi *et al.*, 2003a) y un 16% en novillas en el pico de la lactación (Dewhurst y Knight, 1994). Esta fracción llega a ser del orden del 20% tras 10-14 h de intervalo entre ordeños (Bruckmaier *et al.*, 1994a; Knight *et al.*, 1994a) y del 32-40% después de 16 a 24 h (Ayadi *et al.*, 2003a). Este incremento confirma el importante papel que puede tener el tamaño de las cisternas de la vaca en la acumulación de leche durante 24 h. Según, Davis *et al.* (1998) el tamaño de las cisternas es responsable, aproximadamente, de la mitad de la capacidad funcional de la ubre de la vaca. Así, vacas de cisternas grandes pueden tolerar mejor un aumento del intervalo entre ordeños. Además del tamaño cisternal, la facilidad de drenaje de la leche de los alvéolos (activo o pasivo) hacia las cisternas puede ser considerado un factor importante que explique la pérdida de leche en el caso del aumento del intervalo entre ordeños (Davis *et al.*, 1998; Stelwagen, 2001).

#### **2.4.2. Variación de la composición de las diferentes fracciones de leche en la ubre**

Como ya se ha descrito anteriormente, muchos autores han estudiado la distribución de las fracciones de leche en la ubre en los diferentes intervalos entre ordeños. Sin embargo, muy pocos han estudiado el efecto del lugar de almacenamiento de la leche en la ubre sobre su composición química y la evolución de dicha composición en estos intervalos. Así, surge la necesidad de estudiar la variación de la composición de leche en los diferentes compartimentos de la ubre de los rumiantes, con el fin de entender adecuadamente los efectos de la eyección de leche entre ordeños sobre los componentes lácteos.

De todos los componentes de la leche, las materias grasas de la leche son las que presentan las mayores cambios (Barnicoat *et al.*, 1956). Así, la baja concentración de grasa en la leche cisternal, comparada con la leche alveolar, ha sido descrita en vacas lecheras (Labussière, 1985; Davis *et al.*, 1998; Waldmann *et al.*, 1999; Weiss *et al.*, 2002) y en ovejas lecheras (Labussière, 1969; Rovai, 2001; McKusick *et al.*, 2002). En vacas lecheras, la leche del final del ordeño es 4-5 veces más rica en grasa que la leche que se encuentra en las cisternas, y que se recoge justo después de la puesta de las pezoneras (Johansson *et al.* 1952; Labussière, 1985).

En un trabajo más reciente, Ontsouka *et al.* (2003), encontraron diferencias significativas en el porcentaje de grasa en la leche de vaca entre las fracciones de leche cisternal y alveolar (2,2 vs 8,4 %, respectivamente) y la leche cisternal y residual (2,2 vs 13,0%, respectivamente). Con respecto a la distribución de la grasa dentro de la ubre, se han observado que, entre un 50-75% de la producción total de grasa, está almacenada en el compartimento alveolar de la ubre en la vaca (Mahieu, 1985) y en la oveja (Labussière *et al.*, 1969; McKusick *et al.*, 2002), lo que indica una dificultad en el drenaje de los glóbulos grasos de la leche desde la zona alveolar hacia las cisternas. Sin embargo, el trabajo de Weiss *et al.* (2002) no confirma los resultados anteriores, ya que no observaron cambios en el contenido de grasa en la leche cisternal antes y después de inyección de oxitocina.

En cuanto a la proteína y la lactosa, son componentes mucho más estables de la leche entre los diferentes compartimentos de la ubre de las vacas (Labussière, 1985; Davis *et al.*, 1998) y de las ovejas (McKusick *et al.*, 2002). Según estos autores, la composición en proteína de la leche almacenada en los dos compartimentos de la ubre es similar, indicando la facilidad de drenaje de las micelas de caseínas de los alvéolos a las cisternas, en comparación con los glóbulos grasos. Estas observaciones no confirman los resultados de Claesson (1965), que observó una disminución de 1,5 a 5 g/l en el contenido en proteína de la fracción de leche residual obtenida mediante inyección de oxitocina exógena. La evolución de la concentración de leche en lactosa fue similar a la de la proteína, presentando las últimas fracciones de leche una menor concentración. Respecto a la variación del contenido en células somáticas de la leche durante ordeño, no se observaron diferencias entre la fracción de leche cisternal, alveolar y residual en vacas (Ontsouka *et al.*, 2003), aunque Peris *et al.* (1991) señalan diferencias significativas en el caso de las ovejas.

Davis *et al.* (1998), en vacas lecheras, y McKusick *et al.* (2002), en ovejas lecheras, han estudiado, simultáneamente con la producción, los efectos de los distintos intervalos entre ordeños sobre la composición de la leche cisternal y alveolar.

Según McKusick *et al.* (2002), 4 h después del último ordeño la fracción de leche cisternal es muy rica en grasa, como consecuencia del drenaje de la leche retenida en las partes superiores de la ubre, leche residual, que representa entre un 10-15% de la producción total, y que tiene una elevada concentración en grasa (9,5%). Con el aumento del intervalo entre ordeños hay una disminución en el porcentaje de grasa en la leche cisternal, como consecuencia del fenómeno de dilución que se produce en el compartimiento cisternal (Labussière, 1969; 1985; Stelwagen, 2001). Respecto, al contenido en grasa de la leche alveolar, éste se mantiene estable, comparando entre 24 y 40 h en vacas (Davis *et al.*, 1998).

Sin embargo, en ovejas lecheras, según McKusick *et al.* (2002), la grasa de la leche alveolar se mantiene constante durante las primeras 16 h, para incrementarse después hasta las 24 h, debido a un aumento en la permeabilidad de las uniones intercelulares (*tight*) que se abren a partir de las 17-18 h de intervalo entre ordeños (Stelwagen *et al.*, 1997). Según McKusick *et al.* (2002) no hay diferencias en el contenido en proteína de la leche de las fracciones de alveolar y cisternal en las 20 primeras horas post-ordeño, y sólo a partir de las 24 h la leche cisternal presenta un mayor porcentaje de proteína total.

Respecto a los elementos minerales de la leche, Mackensie y Lascelles (1965; citados por Labussière, 1985), señalan que entre la leche cisternal y la residual hay una reducción del 12-15% en el valor del citrato y del magnesio, y una reducción del 24% en fósforo inorgánico y calcio. Sin embargo, los mismos autores observaron un incremento del 28% en sodio y del 29% en cloro. Según, Labussière (1985) la disminución de la concentración de leche en elementos minerales a lo largo del ordeño es debida a la reabsorción del agua a nivel de los conductos galactóforos. En el mismo contexto, Ontsouka *et al.* (2003) observaron entre la leche alveolar y cisternal una disminución del 9-15% en valor del sodio y potasio, sin embargo no observaron una diferencia significativa en el valor del cloro.

### **2.4.3. Factores de variación del fraccionamiento de leche en la ubre**

#### **2.4.3.1. Estado y número de lactación**

Diversos autores han estudiado las modificaciones que se producen a lo largo de la lactación en el fraccionamiento de la leche durante el ordeño mecánico de vacuno lechero (Dewhurst y Knight, 1993, 1994; Wilde *et al.*, 1996; Pfeilsticker *et al.*, 1996). En general se ha comprobado que la fracción de leche a máquina (LM), que representa el total de la leche cisternal más una cierta cantidad de leche alveolar, es la que sufre una variación más importante en el transcurso de la lactación, siguiendo una evolución prácticamente paralela a

la producción total de leche. Se sabe que la producción de leche disminuye gradualmente tras el máximo de la lactación, y que el descenso de la fracción de leche cisternal es menos pronunciado que el de la producción total (Wilde *et al.*, 1996). Según estos autores, la proporción cisternal:alveolar aumenta con el estado de lactación en vacas de leche.

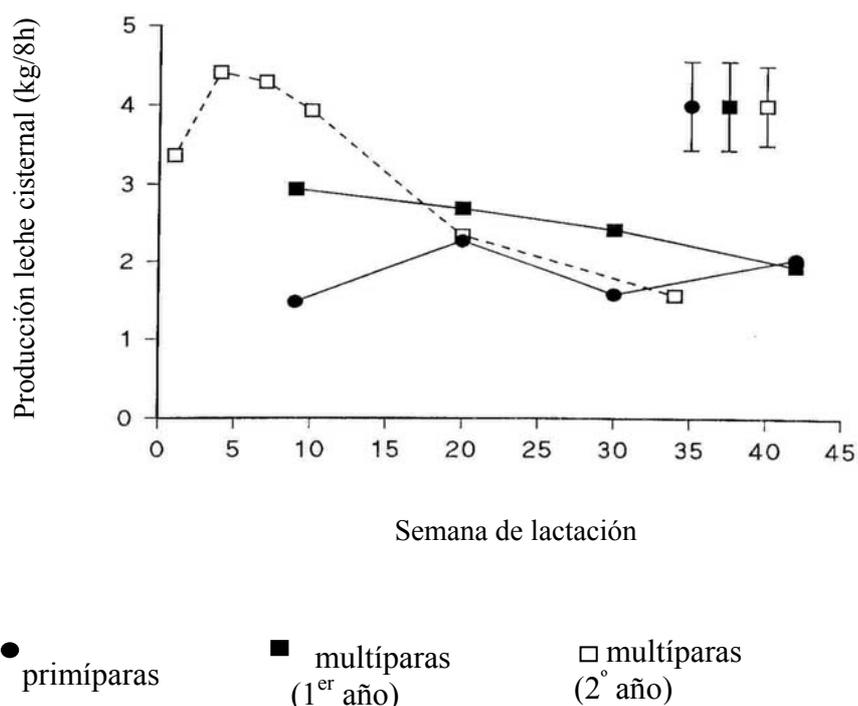
En el mismo sentido, Bruckmaier y Blum (1998) han observado una caída del 18% en la cantidad de leche cisternal durante los meses 2º y 3º de lactación, y de un 13% en el 10º mes. Estos resultados concuerdan con los de Pfeilsticker *et al.* (1996), señalando que la cantidad de la leche cisternal en vacas lecheras disminuye un 34% entre principio (5-14 sem.) y mitad de la lactación (21-26 sem.), y un 44% entre la mitad y final de la lactación (38-43 sem.). Para estos autores, la proporción de leche cisternal no varió significativamente entre el principio y la mitad de la lactación, pero sí se redujo entre el principio y el final de la lactación.

El descenso de la cantidad de la leche cisternal a lo largo de la lactación, puede ser explicada como consecuencia de una menor producción de leche por la degradación de los tejidos secretores (Dewhurst y Knight, 1993). Rovai *et al.* (2002) observaron, una clara tendencia a la disminución del área de la cisterna obtenida mediante ecografía en ovino lechero, y del volumen de leche cisternal en ovejas de raza Manchega y Lacaune a lo largo de la lactación (30, 60 y 105 días post-parto). La distribución de leche en la ubre está influida, además de por el estado de la lactación, por la edad del animal. Así, Wilde *et al.* (1996) señalaron que la proporción cisternal : alveolar aumenta con el numero de lactación en vacuno lechero. Para estos autores, la fracción cisternal representa, en vacas adultas, el 21% de la leche en el pico de la lactación, mientras que es el 12% en primíparas debido probablemente a la inmadurez de su desarrollo cisternal (Dewhurst y Knight, 1994; Davis *et al.*, 1999).

En el mismo contexto, Dewhurst y Knight (1993) demostraron una diferencia en la cantidad de leche cisternal almacenada en la ubre 8 h después del último ordeño entre las vacas primíparas (1,17 kg) y multíparas (2,77 kg), y señalaron también una diferencia en la evolución de la cantidad de leche cisternal a lo largo de la lactación. Así mismo, la producción de leche cisternal disminuyó a lo largo de lactación en vacas multíparas y aumentó en vacas primíparas (Fig. 2.9) lo que puede estar relacionado con la distensión del tejido conjuntivo de la cisterna. Según los mismos autores, la disminución de la producción de leche cisternal es mucho más pronunciada en vacas multíparas de segundo año, debido probablemente al elevado coeficiente de persistencia de la lactación de los animales primíparas (Wood, 1969). La proporción de la leche cisternal aumentó en los dos grupos de vacas.

En relación a la variación del área de la cisterna de la ubre en función de la edad del animal, los únicos resultados disponibles en vacuno lechero son los publicados por Bruckmaier *et al.* (1994a). Estos autores encontraron una elevada correlación ( $r = 0,90$ ) entre el tamaño de la cisterna y el número de lactación, siendo las vacas más viejas las que presentan mayores cisternas. Estos resultados se pueden explicar por la disminución del número de fibras elásticas con la edad del animal, con el consiguiente efecto de distensión de la ubre por el almacenamiento diario de leche en las cisternas.

Sin embargo, Rovai *et al.* (2002) no confirmaron totalmente estos resultados en ovino lechero, señalando que el número de lactación no influyó significativamente sobre el área de la cisterna mamaria, a pesar de que se pudo observar una tendencia ( $P = 0,09$ ) a presentar una mayor área de la cisterna de la ubre en los animales de tres o más lactaciones, en ovejas de raza Manchega y Lacaune.



**Figura 2.9.** Evolución de la producción de la leche cisternal a lo largo de tres lactaciones (Dewhurst y Knight, 1993).

Este distinto reparto en las fracciones de ubre influye, sin duda, en el fraccionamiento de leche durante el ordeño. Así, al aumentar el número de lactación, el volumen de las fracciones de LM y de Leche Apurado a Máquina (LAM) se incrementa, siendo superior en vacas de

segunda lactación, debido probablemente al aumento de la producción total de leche, del volumen de la ubre y del tamaño de las cisternas mamarias, con la edad del animal.

#### **2.4.2.2. Máquina y rutina de ordeño**

Un ordeño eficaz es aquél que permite extraer la máxima cantidad de leche lo más rápidamente posible, sin afectar la salud de la ubre. Los parámetros de la máquina que más influyen sobre el fraccionamiento de la leche durante el ordeño son: la relación y la velocidad de pulsación, y el nivel de vacío.

En el ganado vacuno, una relación de pulsación superior al 50% disminuye el tiempo de ordeño, y más allá del 75% aumenta el riesgo de mamitis (O'Shea, 1987). Además, una relación por encima del 60-70% incrementa la fracción de LAM. Así mismo, velocidades de pulsación de hasta 50-60 p/min favorecen la extracción de leche de la ubre, aunque no suelen influir sobre el reparto de la misma (Labussière, 1966; O'Shea *et al.*, 1983). Se ha observado, que cuando aumenta el nivel de vacío, se incrementa el flujo de leche y disminuye el tiempo de ordeño y la caída de pezoneras, pero se produce un vaciado de la ubre menos eficaz, con un aumento de la fracción LAM (Mein, 1992). El aumento excesivo del nivel de vacío (>50 kPa) puede provocar la ruptura de los vasos sanguíneos, como consecuencia de un efecto de ventosa exagerado sobre la ubre. Este fenómeno puede provocar lesiones en las extremidades de los pezones, lo que puede también incrementar la presentación de infecciones mamarias (O'Shea, 1987; Bramley, 1992; Eitam y Hamman, 1993). Sin embargo, Spencer y Rogers (1991) señalaron que un nivel de vacío muy bajo puede aumentar la caída de pezoneras, complicando por una parte la organización del trabajo y por otro lado puede también aumentar la incidencia de mamitis debido al fenómeno del flujo inverso (Baxter *et al.*, 1992) que se ocasiona al caer la pezonera.

En la mayoría de las especies, la leche no extraída de la ubre durante el ordeño depende en muchos casos del diseño y parámetros de funcionamiento de la máquina de ordeño. Mein (1992) señaló que, es importante que el peso de la unidad de ordeño sea suficiente para evitar el trepado de la pezonera, ya que dicho fenómeno aumenta la leche retenida durante el ordeño y por tanto, la fracción de LAM. Así, un peso de la unidad de ordeño de 5 a 6 kg en vacas lecheras, puede resultar adecuado y evita caídas excesivas de las pezoneras durante el ordeño. Además del peso, la forma y diseño de la unidad puede influir también sobre las fracciones de leche, especialmente la fracción de LAM. Además de la concepción de la máquina, la rutina de ordeño aplicada puede afectar el fraccionamiento de la leche durante el ordeño.

Una adecuada rutina debe permitir obtener a máquina la mayor proporción posible de leche disponible (cisternal y alveolar), dejando en la ubre una cantidad mínima leche residual (LR). Así, una buena rutina de ordeño puede disminuir la cantidad de LR que queda en el tejido alveolar, gracias a su efecto sobre el reflejo de eyección de leche, produciendo la necesaria descarga de oxitocina endógena. Si el reflejo es efectivo, una gran cantidad de leche descenderá desde las células alveolares hacia las cisternas de la ubre, siendo extraída con facilidad durante el ordeño mecánico (Dodd y Griffin, 1978; Labussière, 1993).

## **2.5. Frecuencia e intervalo entre ordeños**

### **2.5.1. Introducción**

La práctica de realizar dos ordeños al día, en vacas lecheras, con un intervalo de 12 h está generalizada en la mayoría de las explotaciones desde hace mucho tiempo. Se han observado algunas variaciones en la frecuencia normal de ordeño o en la amplitud de los intervalos entre ordeños en las últimas décadas ya sea por razones sociales, de cambio en los sistemas de producción, o razones de tipo económico. Así, con el aumento de la producción media de leche por vaca y rebaño, el interés por los efectos de la frecuencia e intervalo entre ordeños en las granjas lecheras ha aumentado.

De esta forma, para maximizar la producción de leche, especialmente en el caso de granjas bajo sistemas de producción intensivos y con costes del litro de leche elevados, puede ser interesante aumentar la frecuencia de ordeños (Hillerton y Winter, 1992; Erdman y Varner, 1995). En este sentido, la incorporación de nuevas tecnologías, como es el caso de ordeño robotizado, ha ofrecido al ganadero la oportunidad de aumentar la frecuencia de ordeño, y con ello la producción de leche, sin intervención humana. Esto permite reducir y hacer más flexible el horario de trabajo, y por tanto, mejorar la calidad de vida sin reducir los resultados productivos o económicos.

Sin embargo, bajo sistemas de producción extensivos (menor coste), como es el caso de muchas explotaciones en Nueva Zelanda, la reducción de la frecuencia de ordeño se puede convertir en una estrategia de interés para ajustar la producción y reducir el calendario laboral. La práctica de realizar un ordeño al día o suprimir uno o más ordeños por semana, se ha aplicado al final de la lactación para mejorar la calidad de vida de los ganaderos (Davis *et al.*, 1999; Sheehy, 2001). Por tanto, determinar el número de ordeños diarios adecuado para cada granja y en diferentes sistemas de producción, tendrá en el futuro una gran importancia para optimizar la producción de leche en bovino lechero.

## **2.5.2. Ritmo regular de ordeño**

### **2.5.2.1. Un ordeño al día frente dos ordeños**

#### **2.5.2.1.1. Producción de leche**

Diversos autores han estudiado los efectos de la reducción de la frecuencia de ordeño sobre la producción de leche en vacas. Así, los resultados publicados sobre el nivel de pérdida de leche en el caso de reducir la frecuencia de ordeño a 1 al día (en relación a dos ordeños diarios) se han resumido en la Tabla 2.6. Según Claesson *et al.* (1959), la reducción de la frecuencia de ordeño a uno al día produjo una pérdida de leche del 50% durante la primera lactación y del 40% durante la segunda. Los mismos autores señalaron que la producción de leche disminuye menos en vacas de alto nivel productivo, como consecuencia de su mayor adaptación al sistema de un ordeño diario. Estos resultados no fueron confirmados por Holmes *et al.* (1992), que obtuvieron pérdidas medias de leche muy variables, en un rango de 10-50% para vacas de alto nivel de producción. Así, quedó establecido que las vacas de alto nivel productivo parecen no adaptarse a un ordeño al día. La reducción media de la producción de leche en caso de 1 ordeño es más importante (27%) en el pico de lactación (Carruthers *et al.*, 1993a; Stelwagen y Knight, 1997) que al final de la lactación (19%) (Parker, 1965; Stelwagen *et al.*, 1994b). En el mismo sentido, Carruthers *et al.* (1993b) observaron que la pérdida de leche al ordeñar una vez al día no es similar entre el principio y el final de la lactación en vacas de raza Jersey y Holstein.

Durante toda la lactación, la pérdida de leche en vacas ordeñadas una vez al día, varía entre 35-50% (Tabla 2.6). Sin embargo, en sistemas de producción extensivos (menor coste), como es el caso de muchas explotaciones en Nueva Zelanda, la reducción a un ordeño diario durante toda la lactación produjo solamente una pérdida media del 13% (Davis *et al.*, 1999). Esta disminución moderada de leche puede ser explicada, tal vez, por una mayor capacidad de almacenamiento de leche durante las 24 horas de secreción en las vacas de Nueva Zelanda (L'Huilier *et al.*, 1989; Morris *et al.*, 1991). De igual forma, Knight y Dewhurst (1994) observaron una correlación negativa ( $r = -0,81$ ) entre la cantidad de leche perdida, en el caso de un ordeño al día, y el volumen de las cisternas de la ubre, señalando así que las vacas de mayor tamaño cisternal toleran mejor la práctica de un ordeño diario. La disminución en la cantidad de leche en el caso de un ordeño al día (comparado a dos ordeños) es mucho más importante en las vacas primíparas que en las múltiparas (Atrill y Holmes, 1993; Carruthers *et al.*, 1993b). Estos resultados pueden ser explicados por la inmadurez del desarrollo cisternal en las novillas (Davis *et al.*, 1999).

Además, la raza (Frisona o Jersey) no afectó significativamente la cantidad de leche perdida en el caso de un ordeño diario (Harding y Harding, 1990; Carruthers *et al.*, 1993b).

Por tanto, en el contexto europeo, la práctica de un ordeño diario durante toda la lactación no es económicamente justificable en la actualidad. Esto es debido, por un lado, a la disminución elevada de la producción de leche y, por otro, por que no hay todavía estudios que permitan distinguir y explicar las diferencias individuales entre animales para orientar su selección.

#### **2.5.2.1.2. Composición química de leche**

La reducción del número de ordeños al día produjo una modificación en los componentes mayores y menores de la leche (Tabla 2.7). Según Davis *et al.* (1999), la variación en la composición química de la leche es consecuencia de los movimientos entre compartimentos y del cambio en la permeabilidad de las membranas del epitelio mamario.

Para muchos autores (Claesson *et al.*, 1959; Villiers y Smith, 1976; Carruthers *et al.*, 1991, 1993a; Stelwagen *et al.*, 1994b) la práctica de un ordeño al día, comparada con dos, produce un aumento en la concentración de materia grasa en la leche. Estos resultados no fueron confirmados por Holmes *et al.* (1992) y Stelwagen *et al.* (1997), para los que el porcentaje de grasa en la leche no varió al suprimir un ordeño al día. En el mismo contexto, Lacy-Hulbert *et al.* (1999) han señalado que el aumento del contenido en grasa de la leche al incrementar el intervalo entre ordeños puede ser explicado por diferencias en el mecanismo de secreción de grasa respecto a los movimientos de la fase acuosa de la leche. Según Holmes *et al.* (1992), el contenido en proteína de la leche se mantiene constante en el caso de suprimir un ordeño al día, comparado a dos ordeños diarios, en vacas lecheras. Estos resultados no fueron confirmados por otros autores, que han observado que la concentración en proteína de la leche aumenta con la práctica de este sistema de ordeño (Claesson *et al.*, 1959; Villiers y Smith, 1976; Carruthers *et al.*, 1991, 1993a; Stelwagen *et al.*, 1994b, 1997; Auld y Prosser, 1998). Este aumento en la tasa de proteína total de la leche puede ser explicado por un ligero incremento en la concentración de leche en caseína. Teniendo en cuenta que las moléculas de caseína se caracterizan por su gran tamaño, éstas no atraviesan las uniones intercelulares (tight) de los alvéolos mamarios, contribuyendo así al aumento en la concentración de proteína en la leche (Stelwagen *et al.*, 1998). Además, la práctica de este sistema de ordeño aumenta el contenido de la leche en  $\beta$ -lactoglobulina, sin modificar la concentración en  $\alpha$ -lactalbumina, incrementando la producción de seroalbúmina en la leche hasta un 20-30%

**Tabla 2.6.** Nivel de pérdida de producción de leche al realizar un ordeño al día en relación a dos ordeños diarios, en vacas lecheras.

Autores (año)	Raza	Producción leche (kg/d)	Pérdida (%)	Estado de lactación	Periodo de la práctica de un ordeño diario
Claesson <i>et al.</i> (1959)	Sueca	-	50	Toda	Toda
“ “	Berrenda Roja	-	40	-	“
Parker (1965)	-	8,0	34	Final	12 sem
Wilson (1965)	Frisona	8,0	27	Final	-
Villiers y Smith (1976)	Jersey y Frisona	18,8	33	Mitad	60 d
Carruther <i>et al.</i> (1991)	Frisona	9-10	11	Final	2 sem
Lynch <i>et al.</i> (1991)	Frisona y Jersey	-	11-15	Final	33-89 d
Holmes <i>et al.</i> (1992)	Jersey y Frisona	-	35	Toda	Toda
Carruther <i>et al.</i> (1993a)	Jersey y Frisona	16,0	16	Principio / Mitad	2 sem
Carruther <i>et al.</i> (1993b)	Frisona	17,0	11	Mitad	1 sem
Knutson <i>et al.</i> (1993)	Frisona	14,5	27	Final	1 sem
Kamote <i>et al.</i> (1994)	Frisona	14,0 y RCS elevado	26	Final	4 sem
“ “	Frisona	14,0 y RCS bajo	14	Final	4 sem
Stelwagen <i>et al.</i> (1994b)	Jersey	13,0	7	Final	2 sem
Stelwagen y Lacy-Hulbert (1996)	Frisona	13,5	15	Mitad	5 d
Stelwagen y Knight (1997)	Británica	35,0	38	Principio	3 sem
Davis <i>et al.</i> (1998)	Jersey y Frisona	11,9	11	Final	2 sem
O’Brien <i>et al.</i> (2002)	Frisona	19,6	29	Final	10 sem.
Media		14,8	24		
(min-max)		(8,0 - 35,0)	(7 - 50)	Toda	5 d– Toda

(Stelwagen y Lacy-Hulbert, 1996). También se ha observado un aumento de las enzimas proteolíticas durante la práctica de un ordeño al día (Knutson *et al.*, 1993).

Algo diferente ocurre con la concentración de lactosa en la leche, que disminuye cuando se realiza un ordeño al día (Claesson *et al.*, 1959; Villiers y Smith, 1976; Carruthers *et al.*, 1991, 1993a; Holmes *et al.*, 1992; Stelwagen *et al.*, 1994b, 1997; Auldish y Prosser, 1998). Esta disminución se explica por el paso de la lactosa a través de las uniones intercelulares mamarias. Stelwagen *et al.* (1997) observaron que el paso de la lactosa al plasma sanguíneo se aceleró 17-20 h después del último ordeño, y que esta cantidad de lactosa que abandona la glándula mamaria representa aproximadamente el 20% de la disminución de la cantidad total de la leche cuando se practica un ordeño diario. Este aspecto debe tener repercusiones en la capacidad y características de los productos lácteos elaborados, aunque existe poca informaciones al respecto.

**Tabla 2.7.** Efectos de la reducción de la frecuencia de ordeños sobre la concentración de los componentes lecheros en vacas lecheras (Lacy-Hulbert *et al.*, 1999).

Componente lecheros	Frecuencia de ordeños al día		
	2 ordeños	1 ordeño	Efecto ( $P <$ )
Proteína (g/kg)	40,9	42,9	0,05
Materias grasas (g/kg)	61,0	64,3	0,05
Lactosa (g/kg)	45,4	44,6	0,10
Log RCS	4,99	4,90	NS
pH de leche	6,76	6,81	0,05
Caseína (g/kg)	30,9	32,2	0,05
Nitrógeno no proteico (NNP, g/kg)	0,34	0,32	0,10
Na (mg/kg)	5,81	6,59	0,05
K (mg/kg)	13,0	12,5	0,10
Ca (mg/kg)	14,0	14,6	0,05
Na / K	0,46	0,56	0,01

NS : diferencias no significativas

Por tanto, la práctica de un ordeño comparado a dos ordeños diarios, durante una lactación entera, aumentará la concentración en materia grasa y proteica de la leche, y disminuirá el contenido en lactosa (Claesson *et al.*, 1959; Holmes *et al.*, 1992). Además de los componentes lecheros mayores, el contenido en elementos minerales de la leche se modifica con la reducción del número de ordeños (Tabla 2.7). Así, la concentración en sodio y cloro aumenta con la práctica de un solo ordeño al día, mientras que el potasio disminuye (Villiers y Smith, 1976; Stelwagen *et al.*, 1994b). Este cambio es básicamente una consecuencia del aumento de la permeabilidad en las uniones intercelulares mamarias.

### **2.5.2.1.3. Contenido de células somáticas en la leche y estado sanitario de ubre**

Las células somáticas provienen del propio organismo del animal, específicamente del torrente sanguíneo y del proceso de descamación del epitelio mamario. Su recuento en la leche es un indicador general del estado sanitario de la ubre y constituye el método más comúnmente utilizado para diagnosticar mamitis subclínicas (Cifrian y Marco, 1997; Charfeddine, 1999). El recuento en células somáticas en la leche (RCS) de un animal que no presente ningún proceso inflamatorio difícilmente supera las 200.000 células/ml, pudiendo llegar a varios millones en el caso contrario (Schukken *et al.*, 1997).

Muchos factores pueden afectar el RCS, por ejemplo la frecuencia de ordeño. Según Holmes *et al.* (1992) la práctica de un ordeño al día durante toda la lactación aumenta el RCS. Estos resultados no fueron confirmados en experiencias a corto plazo, en las que no cambia el RCS al ordeñar una o dos veces vez al día (Stelwagen *et al.*, 1994b; Lacy-Hulbert *et al.*, 1995). Según Kamote *et al.* (1994), el paso a un ordeño diario, aplicado al final de la lactación en dos grupos de vacas lecheras con RCS diferentes (elevado, RCS > 800.000 células/ml; bajo, RCS < 150.000 células/ml), produjo un mayor incremento en el RCS del grupo de vacas con RCS elevado. En el mismo contexto, la práctica de un ordeño al día en vacas con valores iniciales bajos (RCS < 50.000 células/ml) produjo un aumento significativo en el RCS, aunque el recuento celular no superó las 250.000 células/ml (Stelwagen y Lacy-Hulbert, 1996), próximo al nivel medio europeo.

Así, se puede destacar que, en el caso de aplicar un ordeño al día hay que tener en cuenta la concentración inicial de células somáticas, a fin de evitar un aumento del RCS que pueda provocar problemas en la comercialización de leche o su penalización en algunos países.

### **2.5.2.2. Tres ordeños al día o más frente dos ordeños**

Diferentes motivaciones pueden justificar un aumento de la frecuencia de ordeño a más de dos ordeños al día: incremento del tiempo de utilización de la máquina de ordeño, aumento del tamaño del rebaño y aumento en la producción de leche.

#### **2.5.2.2.1. Producción de leche**

Aumentar la frecuencia de ordeños en vacuno lechero a más de dos veces al día, incrementa la producción de leche sin afectar negativamente la salud del animal. También, la respuesta sobre la producción de leche es inmediata y se mantiene durante el periodo de utilización de esta frecuencia de ordeño (<biblio>). Las revisiones bibliográficas llevadas a cabo sobre el efecto del aumento de la frecuencia de ordeño en vacas lecheras han demostrado que, al pasar de 2 a 3 ordeños al día en sistemas convencionales, se produce un incremento medio de la

producción de 3-39% (Elliot, 1959; Peason *et al.*, 1979; Szuchs *et al.*, 1986; Allen *et al.*, 1986; Armstrong, 1989; Hillerton y Winter, 1992; Klei *et al.*, 1997). Estos resultados se presentan resumidos en la Tabla 2.8.

Según algunos autores (Amos *et al.*, 1985; Allen *et al.*, 1986; Gisi *et al.*, 1986), la respuesta de la producción de leche al aumento de la frecuencia de ordeño a 3 veces al día, comparado a 2 veces, fue mayor en las vacas primíparas (19-25%) que en las múltiparas (12-18%). Estos resultados no coinciden con los trabajos de Poole (1982) y DePeters *et al.* (1985), en los que el aumento de la producción fue mayor en vacas múltiparas ordeñadas 3 veces al día.

Además del número de lactación, hay que tener en cuenta del estado de lactación de las vacas. Pearson *et al.* (1979) señalaron que la producción de leche aumenta un 20% al principio de la lactación en vacas ordeñadas 3 veces diarias. Así mismo, Szuchs *et al.* (1986) y Pelissier *et al.* (1978) observaron que el incremento en la producción de leche es mayor tras el pico de lactación, particularmente al final de la misma. Así, la producción aumentó de 7-12% durante los primeros cuatro meses de lactación, y de 16-90% al final de ésta. Según Amos *et al.* (1986), la persistencia de la lactación es mayor en vacas ordeñadas 3 veces al día que en las que se ordeñan dos veces al día. Con respecto a la respuesta racial, Campos *et al.* (1994) señalaron un aumento del 15% en vacas Holstein, y sólo del 6-7% en vacas Jersey, aplicando la práctica de 3 ordeños al día.

Erdman y Varner (1995), analizando 40 estudios comparativos del efecto del aumento de la frecuencia de ordeño, han concluido que el paso de 2 a 3 ordeños diarios se traduce en un incremento constante de la producción de leche, expresada en cantidad (3,5 kg/d), y no por un aumento proporcional. Así, el efecto de la frecuencia de ordeño sería un efecto fijo y no un efecto proporcional, que no dependería de la producción inicial de la vaca.

Los resultados obtenidos en el caso de aplicar 4 ordeños al día son variables. Ipema y Benders (1992) no observaron ninguna variación en la producción al comparar 4 ordeños frente 3 ordeños diarios. Sin embargo, Armstrong *et al.* (1992) observaron un incremento de 6-14% en la producción de leche de vacas con 4 ordeños al día. En el mismo contexto, el aumento de la frecuencia de ordeño de 2-4 veces al día, incrementó la producción de leche de 10-29% (Armstrong, 1989; Hilletron *et al.*, 1990). Estos mismos autores, no observaron diferencias entre vacas y novillas al aplicar las diferentes frecuencias de ordeño. Sin embargo, otros trabajos señalan lo contrario, con una mayor respuesta en las vacas (Poole, 1982).

El aumento de la frecuencia de ordeño de 3-6 veces al día durante las 6 primeras semanas de lactación incrementó la producción de leche de 9-10% (Van der lest y Hillerton, 1989; Bar-Peled *et al.*, 1995).

Estos resultados fueron confirmados por Henshaw *et al.* (2000) en condiciones similares, encontrando una producción de leche superior (7,6%) en las vacas ordeñadas 6 veces frente a las de 3 veces al día.

Recientemente, la introducción de los AMS ha ofrecido al ganadero la oportunidad de aumentar la frecuencia de ordeño, y con ello la producción de leche, sin intervención humana. En la mayor parte de los AMS la propia vaca determina voluntariamente sus visitas para ser ordeñada, pero el ordeño sólo se efectúa después de un intervalo mínimo de 4-6 horas.

Varios experimentos han mostrado que las vacas visitan diariamente el AMS un promedio de 4,9 a 6,9 veces, y que la mayor afluencia de vacas al sistema se produce durante la mañana (Ipema y Benders, 1992; Ketelaar-de Lawere y Ipema, 2000; Wendl *et al.*, 2000). Debido a las características de funcionamiento de los AMS, la variabilidad en el número de visitas al robot da como resultado una gran variación en los intervalos de ordeño entre vacas. El intervalo medio entre dos ordeños consecutivos suele ser de 9,2 horas, con un 14,9% de los ordeños tras un intervalo  $\leq 6$  h y un 17,7% después de un intervalo mayor a las 12 h (De Koning y Ouweltjes, 2000). La frecuencia media diaria de ordeños suele oscilar entre 2,3-2,8 (Wendl *et al.*, 2000). Así, el aumento de producción obtenido con el AMS podría no ser tan elevado como era de esperar. Svennersten-Sjaunja *et al.* (2000) observaron un aumento de producción del 7% en el grupo de vacas en ordeño con AMS, comparado con un grupo control ordeñado dos veces al día, durante un estudio de 25 sem. Los ganaderos franceses que han adoptado un AMS han obtenido un aumento medio de la producción de leche del 3%, aunque puede llegar al 9-13% cuando la experiencia en uso del robot es superior a de dos años (Veysset *et al.*, 2001).

Según Hilletron y Wintter (1992), las novillas y las vacas adultas no responden de la misma manera al aumento de la frecuencia de ordeño. Así, para el caso de las primíparas, caracterizadas por un tamaño cisternal menor (Dewhust y Knight, 1993), aumentar dicha frecuencia es la mejor estrategia para incrementar la producción de leche. Por tanto, como ya se ha comentado en capítulos anteriores, la regulación de la producción de leche se hace a través de un mecanismo autocrino. La respuesta de la producción de leche al aumento de la frecuencia de ordeño, está relacionada con la evacuación continua del componente proteico (FIL) que inhibe la secreción de leche (Wilde y Knight, 1989).

Además, el aumento de la frecuencia de ordeños diaria incrementa la capacidad metabólica y la actividad enzimática de las células secretoras de la ubre (Hilletron *et al.*, 1990).

**Tabla 2.8.** Aumento de la producción de leche al realizar tres ordeños al día comparado con dos ordeños diarios, en vacas lecheras.

Autores (año)	Raza	Producción de leche (kg/d)	Aumento (%)	Estado de lactación	Numero de lactación
Elliot (1959)	-	-	3-39,0	Toda	-
Pelissier <i>et al.</i> (1978)	-	-	7-12,0	Principio	-
“ “	Holstein	-	16-90,0	Final	-
Pearson <i>et al.</i> (1979)	-	24,0	20,0	Principio	-
Poole (1982)	-	-	19,0	Mitad	1 <sup>a</sup>
Amos <i>et al.</i> (1985)	Holstein	33,9	25,2	-	Primíparas
“ “	Holstein	36,0	18,5	-	Múltiparas
DePeters <i>et al.</i> (1985)	Holstein	27,0	13-17,0	Toda	1 <sup>a</sup> y 2 <sup>a</sup>
Allen <i>et al.</i> (1986)	Holstein	25,0	19,4, 13,5, 11,7 y 13,4	-	1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup> y 4 <sup>a</sup>
Szuch <i>et al.</i> (1986)	Holstein	20,0	12,0	Toda	-
Campos <i>et al.</i> (1994)	Holstein	27,0	17,3	-	1 <sup>a</sup>
“ “	Jersey	15,8	6,3	-	1 <sup>a</sup>
Klei <i>et al.</i> (1997)	Holstein	42,0	6-28	Toda	-
Smith <i>et al.</i> (2003)	Holstein	29,5	15-16,0	Toda	-
Media (min-max)		27,9 (15,8 – 42,0)	19,4 (3 – 39)	Toda	1 <sup>a</sup> - 4 <sup>a</sup>

#### 2.5.2.2.2. Composición química de leche

Sobre el efecto del aumento de la frecuencia de ordeño sobre la composición química de la leche, existen opiniones contradictorias. Algunos autores han destacado que 3 ordeños al día no afectan la concentración en materia grasa de la leche, comparándola con 2 ordeños diarios (Amos *et al.*, 1985; DePeters *et al.*, 1985; Gisi *et al.*, 1986). Estos resultados no han sido confirmados por otros autores, para los que el contenido en grasa de leche aumentó de forma variable entre un rango de 4,7-11,4% (Logan *et al.*, 1978; Allen *et al.*, 1986; Campos *et al.*, 1994; Oltenacu *et al.*, 1994; Klei *et al.*, 1997), o disminuyó de 3-6% (Pearson *et al.*, 1979; Szuchs *et al.*, 1986; Erdman y Varner, 1995).

No existen evidencias concretas del incremento en el contenido en materia grasa de la leche al aumentar la frecuencia de ordeños hasta 3 veces o más al día. En este sentido, Travers y Barber (1993) observaron un incremento en la actividad de las enzimas Acetil-coenzima A carboxilasa y de la sintetasa de ácidos grasos (FAS) en los tejidos mamarios en cabras al aumentar el número de ordeños, confirmando los resultados previos en vacas lecheras (Hillerton *et al.*, 1990).

En realidad, la remuneración de la producción lechera se basa en la calidad de la leche, principalmente en el contenido en materia grasa y proteína. Así, es indispensable conocer las fuentes de variación de estos componentes en la leche. Existen dos procesos metabólicos importantes a tener en cuenta: la lipólisis de la materia grasa y la proteólisis de la proteína, que no solamente reducen la calidad de la leche (Murphy *et al.*, 1989) sino que también afectan a la producción de queso y derivados lácteos (Barbano *et al.*, 1991). En este contexto, Hawke y Taylor (1995) observaron que el aumento de la frecuencia de ordeños produjo una síntesis suplementaria de ácidos grasos de cadena corta (AGC), y por tanto un incremento en su proporción en la grasa de la leche (Lynch *et al.*, 1992). Así, la proporción de los AGC en la leche de las vacas ordeñadas 3 veces al día es mayor que en las que son ordeñadas 2 veces al día. Según los mismos autores, la lipasa de la leche, causante de la lipólisis, tiene mayor afinidad por los AGC que por los ácidos grasos de cadena larga (AGL), aumentando así el riesgo de lipólisis espontánea de la leche en las vacas ordeñadas 3 veces al día.

Según Allen *et al.* (1986) al aumentar la frecuencia de ordeños a 3 veces al día la disminución del porcentaje de grasa en la leche es mayor en la primera lactación (18%) que en las siguientes lactaciones (9-11%). Estos resultados fueron confirmados por Klei *et al.* (1997), quien señalaron que existe una interacción entre el número de lactación y la frecuencia de ordeño, que afecta significativamente al porcentaje en materia grasa de la leche. Además, la raza es otro factor que afecta el contenido en grasa de la leche en relación a la

respuesta a frecuencias elevada de ordeño. Así, Campos *et al.* (1994) observaron que el aumento del porcentaje de grasa en leche es mayor en la raza Holstein (12%) que en la Jersey (6%). Además de los efectos citados sobre la materia grasa, existen diferentes opiniones acerca del efecto de aumentar la frecuencia de ordeño de 2 a 3 veces al día sobre el contenido en proteína de la leche. Para algunos autores, el aumento de la frecuencia de ordeño no afecta significativamente a dicho componente de la leche (Pearson *et al.*, 1979; Amos *et al.*, 1985; DePeters *et al.*, 1985; Szuchs *et al.*, 1986), mientras que para otros la proteína total aumenta (Campos *et al.*, 1994; Oltenacu *et al.*, 1994; Klei *et al.*, 1997) o en ocasiones disminuye (Erdman y Varner, 1995).

La plasmina, enzima proteolítica que proviene de la sangre y que llega a la leche a través de las uniones intercelulares mamarias, es responsable de la degradación de la caseína de la leche durante su almacenamiento en la ubre (Politis *et al.*, 1989). En realidad no es una degradación en sí, sino una transformación de la  $\beta$ -caseína a  $\gamma$ -caseína (falsa caseína) que aparece de forma natural en la leche recién ordeñada. La actividad de la plasmina aumenta con el estado y número de lactación, así como con el recuento en células somáticas de la leche (Politis *et al.*, 1989; Bastien *et al.*, 1991). Así, la leche almacenada en la ubre entre dos ordeños tiene una temperatura de 38,5°C, que es la óptima para la proteólisis de la caseína por acción de la plasmina (Klei *et al.*, 1997). Por tanto, el aumento de la frecuencia de ordeños reduce el tiempo de almacenamiento de la leche en la ubre, y por consiguiente, el efecto negativo de la plasmina sobre la caseína de la leche. Estos resultados confirman los trabajos anteriores de Bastein *et al.* (1991), que observaron una reducción de la proteólisis de la caseína de leche al aumentar la frecuencia de ordeños hasta 3 veces diarias, entre los días 100 y 200 de lactación.

Para Hillerton *et al.* (1990), aumentar la frecuencia de ordeños de 2 a 4 veces al día incrementa significativamente el contenido en proteína bruta de la leche, pero la diferencia en valor absoluto es pequeña. Erdman y Varner (1995), observaron que el aumento de la frecuencia de ordeño de 2 a 3 veces al día se tradujo en un incremento constante de la producción de materias grasa y proteica, expresados en cantidad pero no en porcentaje. Así mismo, el aumento de la frecuencia de ordeños de 3 a 6 veces al día al principio de la lactación no afectó el contenido en grasa y proteína de la leche (Bar-Peled *et al.*, 1995). Estos resultados no fueron confirmados por otros trabajos similares, que señalaron una disminución del 4% en el contenido en materia proteica de la leche (Henshaw *et al.*, 2000). Con respecto a la lactosa, el aumento de la frecuencia de ordeños de 2 a 3 veces al día no afectó su concentración (Amos *et al.*, 1985; DePeters *et al.*, 1985).

Sin embargo, Hillerton *et al.* (1990) observaron un aumento significativo del contenido en lactosa de la leche al aumentar de 2 a 4 veces al día dicha frecuencia, aunque la diferencia en valor absoluto fue reducida.

La introducción de los AMS en las granjas de vacuno lechero ha producido cambios significativos en la composición química de la leche (Klungel *et al.*, 2000; Van der Vorst y Hogeveen, 2000; Rasmussen *et al.*, 2002). Según Klungel *et al.* (2000), al comparar el AMS con granjas donde se efectuaba dos ordeños al día, no se apreció variación en el contenido en materia grasa de la leche, pero hubo una disminución en la proteína bruta y un aumento de los ácidos grasos libres (Tabla 2.9). Sin embargo, al comparar con granjas que realizaban 3 ordeños diarios, no varió la proteína bruta de la leche, aumentando la grasa y los ácidos grasos libres.

**Tabla 2.9.** Parámetros de calidad de leche en granjas con salas convencionales para dos ordeños al día (x2) y tres ordeños (x3) y ordeño robotizado (2,8/día) (Klungel *et al.*, 2000).

Item	Sala de ordeño		Ordeño robotizado
	x2	x3	
Grasa (%)	4,45 <sup>a</sup>	4,19 <sup>b</sup>	4,39 <sup>a</sup>
Proteína (%)	3,47 <sup>a</sup>	3,42 <sup>b</sup>	3,41 <sup>b</sup>
Log RCS (células/ml)	5,22 <sup>ab</sup>	5,11 <sup>a</sup>	5,27 <sup>b</sup>
Log Ácidos Grasos Libres (mmol/100g grasa)	-0,89 <sup>a</sup>	-0,72 <sup>b</sup>	-0,58 <sup>c</sup>
Punto de congelación (°C)	-0,52 <sup>a</sup>	-0,53 <sup>b</sup>	-0,51 <sup>c</sup>
Log Recuento Bacteriológico Total (ufc/ml)	2,15 <sup>a</sup>	1,88 <sup>b</sup>	2,87 <sup>c</sup>

<sup>a, b, c,...</sup> Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

### 2.5.2.2.3. Contenido en células somáticas de leche y el estado sanitario de la ubre

El aumento de la frecuencia de ordeño hasta 3 veces o más al día tiene un efecto directo sobre el recuento en células somáticas de leche (RCS), y por tanto debe esperarse que lo tenga sobre la salud de la ubre en vacas lecheras. Según Pearson *et al.* (1979) el aumento de la frecuencia de ordeños de 2 a 3 veces al día disminuyó el índice de WMT (*Wisconsin Mastitis Test*), indicando así que dicho aumento no afectó negativamente el estado sanitario de la ubre. Este resultado fue confirmado por Waterman *et al.* (1983), con una reducción de 16% del RCS al ordeñar 3 veces al día frente 2 veces. En trabajos más recientes (Gisi *et al.*, 1986; Ipema *et al.*, 1987; Oltenacu *et al.*, 1994; Klei *et al.*, 1997) se han confirmado todos estos resultados. En el mismo contexto, Oltenacu *et al.* (1994), analizando el efecto de la frecuencia de ordeños sobre el RCS en diferentes estados y números de lactación, observaron que el

aumento del número de ordeños diarios de 2 a 3 disminuyó la incidencia de infecciones bacteriológicas en casi un 30%.

Klei *et al.* (1997) señalaron que el RCS disminuyó con el aumento de la frecuencia de ordeños, pero esta disminución varió en función del estado de lactación de las vacas. Así, el RCS se redujo un 24, 51 y 24% al principio, mitad y final de la lactación, respectivamente, al aumentar la frecuencia de ordeños 3 veces al día. Allen *et al.* (1986) observaron, unos resultados totalmente contradictorios respecto a los anteriores en vacas lecheras, con un incremento significativo del RCS al aumentar la frecuencia de ordeños hasta la tercera lactación, y una posterior disminución. Recientemente, con la introducción de los AMS, ha aumentado el RCS (Rasmussen *et al.*, 1999, 2002; Klungel *et al.*, 2000; Van der Vorst y Hogeveen, 2000).

Así, en granjas con AMS y frecuencia diaria de 2,8 ordeños, el RCS incrementó un 6% y un 18%, respecto granjas convencionales de 2 y 3 ordeños al día (Klungel *et al.*, 2000). Según dichos autores, también aumentó el recuento bacteriológico total de la leche (Tabla 2.9).

Hay dos teorías que explican el efecto del aumento de la frecuencia de ordeños (3 veces o más) sobre la salud de la ubre. En primer lugar, Allen *et al.* (1985) señalan que la práctica de 3 ordeños al día o más reduce la incidencia de mamitis, debido a que el aumento de la frecuencia de ordeños disminuye el intervalo entre ordeños, y por tanto el tiempo de incubación de los microorganismos en la ubre. Por otro lado, Logan *et al.* (1978) afirman que el aumento de la frecuencia de ordeños incrementa la transmisión de nuevas bacterias a los animales sanos, considerando la exposición del animal a la máquina de ordeño la causa de la mitad de los incrementos del RCS.

### **2.5.3. Ritmo irregular de ordeño**

#### **2.5.3.1. Frecuencia asimétrica**

En la mayor parte de las explotaciones de vacas lecheras, la utilización de dos ordeños al día es la práctica más común. Así, durante los últimos 30 años, se han recomendado intervalos entre ordeños de 12 h, aunque no suele ser el intervalo más común. Dadas las condiciones económicas y sociales que caracterizan a las ganaderías de bovino lechero, los intervalos asimétricos entre ordeños (8-16 h, 9-15 h ó 10-14 h) parecen ser más adecuados que el intervalo simétrico (12-12 h), ya que permiten un horario de trabajo más flexible, y por tanto, mejoran la calidad de vida de los ganaderos (Sahr y Ormiston, 1966; Labussière y Coindet, 1968; Knight *et al.*, 1994a). Se han realizado muchos estudios en rumiantes lecheros para

determinar el intervalo más adecuado, con el fin de maximizar la producción de leche y minimizar su coste.

La práctica de tres ordeños durante dos días, con intervalos consecutivos de 14, 16 y 18 h en vacas lecheras primíparas, produjo una pérdida en la producción de leche del 16% y 10%, al principio y a mitad lactación, respectivamente, en comparación con vacas ordeñadas en intervalos de 12-12 h (Remon y Boit, 1997). Según los mismos autores, en las vacas multíparas no varió la producción de leche al principio de la lactación, disminuyendo un 9% a mitad de lactación. En el mismo contexto, Galton y Merrill (1998), observaron que las vacas lecheras de alto nivel de producción, cuando se ordeñan con un intervalo de 12-12 h, producen de 3 a 5% más de leche que las ordeñadas a 10-14 h, confirmando así trabajos anteriores en los que la producción de leche aumentó un 2%, en las vacas ordeñadas con intervalo de 12-12, comparado a 9-15 h (Sahr y Ormiston, 1966), lo que indica que la tasa de secreción de leche se inhibe cuando el intervalo entre ordeños es largo. Estos resultados coinciden con las observaciones de Ouweltjes (1998), que señaló una reducción en la tasa de secreción de leche entre 8 y 12 h de intervalo entre ordeños.

Sin embargo, Knight *et al.* (1994a) observaron que la tasa de secreción de leche se mantuvo constante hasta las 12 horas después de último ordeño y, en este mismo sentido Ayadi *et al.* (2003a), no observaron diferencias significativas en la tasa de secreción de leche hasta las 16 horas de intervalo entre ordeños, confirmando los resultados de Eliot (1959) y Zack (1962) en vacas lecheras. Estas variaciones en la tasa de secreción de leche en la ubre deben ser consecuencia de factores individuales de los animales (Eliot, 1959), entre otros, de las características anatómicas de la ubre. La capacidad de los animales de tolerar intervalos entre ordeños largos se debe relacionar con un gran tamaño cisternal, tal como se han observado en vacas (Knight y Dewhurst, 1994), ovejas (Labussière, 1988; Rovai, 2001; McKusick *et al.*, 2002) y cabras (Peaker y Blatchford, 1988; Salama *et al.*, 2003). Así, los rumiantes lecheros con cisternas grandes toleran mejor los intervalos largos entre ordeños, tienen una mayor persistencia de la lactación, y producen más leche que los animales con cisternas pequeñas.

Diversos autores han estudiado el efecto del intervalo entre ordeños sobre la variación de la producción de leche entre el ordeño de la mañana y el de la tarde. Así, pese a practicar dos ordeños al día con intervalos simétricos (12-12 h), las vacas tienden a tener una producción de leche por la mañana más elevada que por la tarde (Puntnam y Gilmore, 1969; Palmer *et al.*, 1994; Lee *et al.*, 1995).

En intervalos entre ordeños superiores a las 12 horas (por la noche), la producción de la mañana excede a la de la tarde en 1200 g/h (Everett y Wadell, 1970).

Estos resultados no fueron confirmados por Ouweltjes (1998), que señaló que, cuando la producción de leche se expresa en gramos por hora, el efecto del intervalo entre ordeños es negativo.

Así, la producción de la tarde (1063 g/h) fue mayor que la de la mañana (1002 g/h). Según Everett y Wadell (1970), además del intervalo entre ordeños, la relación existente entre la producción de leche mañana : tarde varió en función del estado y número de lactación, así como del nivel de producción de las vacas. La relación mañana : tarde aumenta con el estado de la lactación, con el número de la lactación, y es mayor en las vacas de alto nivel productivo (Palmer *et al.*, 1994; Ouweltjes, 1998).

La diferencia entre la producción del ordeño de la mañana y de la tarde ha sido explicada por muchos autores (Ormiston *et al.*, 1967; Lee *et al.*, 1995; Ouweltjes, 1998), como consecuencia del descenso de la tasa de secreción de leche en función del tiempo entre ordeños. Por tanto, la alta producción de leche por hora durante los intervalos entre ordeños cortos explica el aumento de la producción de leche en el caso de practicar 3 ordeños diarios (Wilde y Peaker, 1990).

Además de la producción, la composición química de la leche varía en función del intervalo entre ordeños. Según Remond y Boit (1997), la práctica de tres ordeños a lo largo de dos días en vacas primíparas y al principio de la lactación, produjo un incremento de 11,9% y 6,6% en el contenido en grasa y proteína de la leche, respectivamente, en comparación con dos ordeños diarios. Sin embargo, este sistema de ordeño disminuyó un 3,2% el contenido en lactosa de la leche, sin afectar su recuento de células somáticas. En vacas multíparas, no se presentaron diferencias significativas en los componentes lecheros entre la práctica de tres ordeños durante dos días y la de dos ordeños diarios, tanto al principio como a mitad de lactación. Se puede destacar que las vacas con cisternas grandes, como el caso de las multíparas (Dewhurst y Knight, 1994), pueden reducir la variación de la composición química de leche en el caso del aumento del intervalo entre ordeños.

En el mismo contexto, la variación del intervalo entre ordeños afectó la composición química de la leche entre el ordeño de la mañana y el de la tarde. Según algunos autores (Elliot, 1959; Labussière y Richard, 1965; Labussière, 1985), la concentración de los principales constituyentes lácteos es superior durante el ordeño de la tarde comparado con el de la mañana, en intervalos asimétricos. Así, cuando se realizan dos ordeños al día, la leche de la tarde es más rica en grasa que la leche de la mañana. Estas variaciones en la composición no son el resultado de una mayor secreción durante el día, si no que pueden deberse a una

diferencia en la calidad de eyección de leche o a la distinta contribución de las fracciones cisternal y alveolar a la leche ordeñada.

### **2.5.3.2. Supresión de un ordeño por semana**

Frente al exceso de producción de leche en los países de la Unión Europea, la reducción diaria de la frecuencia de ordeño parece ser una alternativa de ajuste de la producción, así como una importante mejora de las condiciones de trabajo por la adaptación al calendario laboral habitual. De hecho, suprimir uno o más ordeños por semana (domingo por la tarde) se justifica por razones esencialmente sociales, especialmente en las granjas pequeñas o familiares.

La introducción, una vez por semana, de un intervalo de 18 o 24 h entre ordeños, probablemente ofrece menos riesgos que la práctica de un ordeño diario, en donde la pérdida de leche varía entre 30 y 50% (Autrey, 1963; Holmes *et al.*, 1992). Hay escasos trabajos que han estudiado el efecto de la supresión de un ordeño por semana sobre la producción en vacas, en relación a dos ordeños diarios, con pérdidas entre 3 y 10% (Labusière y Coindet, 1968; Radcliffe *et al.*, 1973; Charron, 1986). Trabajos más recientes no han observado ningún efecto de la supresión de un ordeño semanal sobre la producción (Sheehy, 2001; O'Brien *et al.*, 2002). La pérdida de leche se relaciona con el nivel de producción, la raza y la morfología de la ubre. Recientemente se ha constatado que la anatomía de la ubre, concretamente el tamaño de las cisternas mamarias, es un factor importante en la determinación de la pérdida de producción lechera, en el caso del incremento del intervalo entre ordeños (Knight y Dewhurst, 1994; Davis *et al.*, 1998).

En este sentido, queda por verificar si la supresión de un ordeño por semana puede reducir de una manera aceptable las necesidades alimenticias de los animales bajo este tratamiento, tal como se indica en ovejas (Gallego *et al.*, 1984; Huidobro, 1988). Actualmente, la supresión de un ordeño por semana parece ser la técnica más interesante para los ganaderos, teniendo en cuenta las condiciones de producción de este sector en la Unión Europea.

#### **2.5.3.2.1. Producción de leche**

La supresión de un ordeño por semana debería producir una pérdida teórica en la producción de leche estimada semanal inferiora a 1/14 (7,1%) de la leche total ordeñada (Labusière y Richard, 1965). Los resultados publicados sobre el nivel de pérdida, en el caso de la supresión de un ordeño por semana en relación a dos ordeños diarios, están resumidos en la Tabla 2.10.

Según Labussière y Coindet, (1968), la supresión del ordeño del domingo por la tarde, practicado cada semana y durante toda la lactación, y sin modificaciones de horarios de los otros ordeños (24 h entre el domingo por la mañana y el lunes por la mañana), produjo en vacas de raza Frisona una reducción de 7,5 % de la cantidad total de leche. Radcliffe *et al.* (1973) al suprimir el ordeño del jueves por la mañana durante 24 h, observaron una pérdida menor (3,5%). En el mismo contexto, Charron (1986) señaló que si se realiza un ordeño más tarde el domingo por la mañana y más pronto el lunes por la mañana (de manera que se obtengan intervalos de 18 h), se reduce la pérdida de producción a un 3-5%. Recientemente, Sheehy (2001), estudiando el efecto de la supresión de un ordeño por semana sobre la reducción del coste de mano de obra en las explotaciones de vacas lecheras, la cual fue estimada entre 800-1000 euros por año, ha destacado que esta práctica, a corto plazo (10 semanas) y aplicada al final de la lactación, no afectó a la producción lechera. Estos resultados fueron confirmados por O'Brien *et al.* (2002) en vacas lecheras.

La producción de leche diaria se comporta de manera distinta durante los días de la semana cuando se suprime un solo ordeño semanal. Así, al suprimir el ordeño del domingo por la tarde, se observa más leche en el ordeño del lunes por la mañana y menos leche en el ordeño del lunes por la tarde, con un retorno a la normalidad productiva a partir del martes por la tarde o miércoles por la mañana (Labussière y Coindet, 1968; Labussière, 1985). Para evitar problemas de alteraciones en la producción, particularmente en el caso de animales sometidos a control lechero, es recomendable realizar el control de producción de leche como mínimo 72 h después del día de la supresión de un ordeño.

#### **2.5.3.2.2. Composición química de leche**

Diversos autores han estudiado el efecto de la supresión de un ordeño por semana sobre la composición química de la leche en vacas (Autrey *et al.*, 1963; Labussière y Coindet, 1968; Radcliffe *et al.*, 1973; Charron, 1986; Sheehy, 2001; O'Brien *et al.*, 2002).

En vacas lecheras la supresión del ordeño del domingo por la tarde, aplicada semanalmente y durante toda la lactación, sin modificaciones en los horarios de los otros ordeños, produjo una perturbación considerable del contenido en materia grasa de la leche a lo largo de la semana (Labussière y Coindet, 1968). Así, el porcentaje en grasa del ordeño del lunes por la mañana es ligeramente más elevado que el valor habitual (3,72% vs 3,64 %), pero esta diferencia es aún superior el lunes por la tarde (5,91% vs 4,21%), pudiendo alcanzar hasta 8,5% al final de la lactación. El martes por la mañana, el porcentaje de grasa es todavía

elevado (3,97% en lugar de 3,64%), y empieza a estabilizarse a partir del ordeño del martes por la tarde o miércoles por la mañana.

El máximo contenido en materia grasa de la leche observado el lunes por la tarde, se puede explicar por la restitución de la materia grasa de la leche residual retenida el lunes por la mañana en la luz de los alvéolos después de un largo intervalo entre ordeños (Labussière y Richard, 1965).

Según, Labussière y Coindet (1968), además de la materias grasa, la supresión del ordeño del domingo por la tarde, modifica el contenido en proteína bruta de la leche a lo largo de la semana, con un ligero aumento el lunes por la mañana (3,3% en lugar 3,2%) y más importante el lunes por la tarde (3,6% en lugar de 3,4%), con un retorno al valor normal a partir del martes por la mañana. Este ligero aumento de la concentración en proteína observado el lunes puede ser explicado por un incremento de la concentración de caseína en la leche (Claesson *et al.*, 1959). Además, según Stelwagen y Lacy-Hulbert (1996), el aumento del intervalo entre ordeños incrementa el paso de seroalbúmina a la leche.

Respecto a la concentración de lactosa en la leche, Labussière y Coindet (1968) no observaron modificaciones consecutivas a la supresión del ordeño del domingo por la tarde, como el caso de la grasa y la proteína. Al contrario, observaron ligeras disminuciones, del orden de 1 g/l, hasta el miércoles por la mañana. La reducción de la concentración en lactosa de la leche se puede explicar por una reabsorción de los azúcares a nivel del epitelio mamario, con el consiguiente incremento de la lactosemia y lactosuria (Wheelok y Rook, 1966; Lacy-Hulbert *et al.*, 1999).

Por tanto, la supresión del ordeño del domingo por la tarde a lo largo de toda la lactación, produce pérdidas en la producción de grasa (6,3%), proteína (6,6%), lactosa (7,0%) y extracto seco magro (7,1%) de la leche (Labussière y Coindett, 1968). Recientemente, se ha observado que la supresión de un ordeño por semana en vacas lecheras, aplicada a corto plazo y al final de la lactación, no afectó el contenido en grasa, proteína y lactosa de la leche (Sheehy, 2001; O'Brien *et al.*, 2002).

#### **2.5.3.3.3. Contenido en células somáticas de la leche y estado sanitario de la ubre**

La mamitis es una de las enfermedades más significativas e importantes del ganado bovino lechero, causando pérdidas económicas muy elevadas como consecuencia de una reducción en la producción de leche, una disminución del precio de venta de la misma por el deterioro de su calidad microbiológica, y un incremento en los gastos por medicamentos y servicios veterinarios (Rogers y Spencer, 1991; Charfeddine, 1999).

La práctica de la supresión de un ordeño semanal, por el estrés que representa sobre la ubre, podría provocar un aumento en el riesgo de los animales de padecer mamitis. Sin embargo, en vacas lecheras, para la mayoría de los autores la supresión de un ordeño por semana no parece afectar el RCS de la leche.

Según Labussière y Coindet (1968), la supresión del ordeño del domingo por la tarde durante toda la lactación no produjo un aumento en las células somáticas, manteniendo una concentración media inferior a 500.000 células/ml. Además, la evolución del CMT (*California Mastitis Test*), utilizado en esta experiencia para la apreciación del número de leucocitos en leche, no fue diferente en los dos grupos de animales. Algunos autores han observado que, tras la supresión de un ordeño semanal, no hay una aparición de animales con casos de mamitis clínicas, y por tanto no parece existir efecto sobre el estado sanitario de la ubre en vacuno lechero (Claesson, 1965; Labussière y Richard, 1965; Charron, 1986). En trabajos más recientes, la supresión de un ordeño por semana, aplicado a corto plazo y al final de la lactación, no provocó un aumento en el RCS, y por tanto no afectó el estado sanitario de la ubre (Sheehy, 2001; O'Brien *et al.*, 2002).

**Tabla 2.10.** Resumen del nivel de pérdida de producción de leche en caso de supresión de un ordeño por semana en relación a dos ordeños diarios, en vacas lecheras.

Autores (año)	Raza	Producción leche (kg/d)	Intervalo entre ordeños (h)	Pérdidas (%)	Estado de lactación	Periodo de supresión (semanas)
Witt (1963)	-	-	18	3,0	Mitad-final	8-15
Autrey <i>et al.</i> (1963)	Frisona	-	24	10,0	Mitad	4-5
Labussière y Coindet (1968)	Frisona	22,0	24	7,5	Toda	Toda la lactación
Radcliffe <i>et al.</i> (1973)	Frisona	18,0	24	3,5	Final	-
Charron (1986)	Holstein	-	18	4,0	Toda	Toda la lactación
Sheehy (2001)	Holstein	19,6	19	0,0	Final	10
O'Brien <i>et al.</i> (2002)	Frisona	19,6	24	0,0	Final	10
Media (min-max)	Todas	19,8 (18,0-22,0)	(18-24)	4,0 (0-10,0)	Toda	4 sem. - Toda