



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS  
ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS



**“EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE PEZONES,  
EN VACAS LECHERAS DE LOS PRINCIPALES GENOTIPOS Y SISTEMAS  
PRODUCTIVOS UTILIZADOS EN CHILE”**

**Daniela de los Ángeles Soto Opazo**

Memoria para optar al Título Profesional  
de Médico Veterinario  
Departamento de Fomento de la  
Producción Animal

PROFESOR GUÍA: DR. HERNÁN AGÜERO E.

SANTIAGO-CHILE

2014

Financiado por DeLaval S.A



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS  
ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS



**“EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE PEZONES,  
EN VACAS LECHERAS DE LOS PRINCIPALES GENOTIPOS Y SISTEMAS  
PRODUCTIVOS UTILIZADOS EN CHILE”**

**Daniela de los Ángeles Soto Opazo**

Memoria para optar al Título Profesional  
de Médico Veterinario  
Departamento de Fomento de la  
Producción Animal

NOTA FINAL:.....

	NOTA	FIRMA
PROFESOR GUÍA: DR. HERNÁN AGÜERO E.	_____	_____
PROFESOR CONSEJERO: DR. MARIO DUCHENS A.	_____	_____
PROFESOR CONSEJERO: DR. RICARDO OLIVARES P-M.	_____	_____

SANTIAGO-CHILE  
2014

A los animales

## **AGRADECIMIENTOS**

El presente trabajo es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participó un gran número de personas... leyendo, opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia, dándome ánimo y energía, acompañándome en momentos difíciles y compartiendo doblemente mi felicidad.

Por ello, agradezco con todo mi corazón a mi familia, personas que hacen todo en esta vida para que yo pudiera lograr mis sueños... por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se truncaba; y porque a pesar de todo, siempre han estado orgullosos de mí. Gracias Marcela, Basilio, Marcelo, Laly, Rubén, Queno, Ricardo y Jaime... Gracias Papá Lucho por guiarme en el camino para encontrar mi felicidad, y gracias San Francisco de Asís por no dejarme flaquear.

También agradezco enormemente al Dr. Agüero, por haber confiado en esta pequeña padawan mucho antes de pensar que sería su alumna tesista. Por su paciencia, consejos y la gran dirección que le dio a este trabajo con su noble dedicación y experiencia. Para ud. y para el Dr. Duchens, mi enorme gratitud y reconocimiento. Al equipo de la empresa DeLaval S.A., por brindarme esta oportunidad, por apoyarme y dar financiamiento a esta memoria, y por su respaldo en materias logísticas y técnicas; gracias a todos los que compartieron conmigo palabras y partidos de fútbol... gracias por la sana convivencia y por aperrar en las salidas a terreno. También agradezco al personal de la empresa Cooprinsem, y especialmente al Dr. Jorge Lama, quienes me ayudaron a acceder a información valiosa y esencial para la realización de esta memoria.

A mis queridos amigos, por su hermandad, apoyo y buenas vibras. A mi noble y fiel compañera, Babilonia, por estos nueve años de noches en vela, estudio y conexión. A todos mis perros que me han acompañado a lo largo de mi vida y que me enseñaron la simplicidad de amar... Y a Mario, mi pololo y ahora colega, mi partner incondicional y coach en ésta y otras infinitas aventuras.

A todos y cada uno de uds. les dedico cada una de estas páginas...

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Morfología de Pezones: Antecedentes Generales e Importancia.....	3
2.2. Características Morfológicas de los Pezones Bovinos .....	10
2.3. Factores que Afectan la Morfología de Pezones .....	13
3. OBJETIVOS .....	19
3.1. Objetivo General.....	19
3.2. Objetivos Específicos .....	19
4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	20
4.1. Localización del Estudio y Selección de los Rebaños .....	20
4.2. Determinación del Número de Rebaños y de Animales .....	21
4.3. Caracterización de los Rebaños y Factores Asociados a la Ordeña .....	21
4.4. Protocolo de Evaluación de la Morfología de los Pezones.....	22
4.5. Análisis de Resultados .....	24
4.5.1. Caracterización de los rebaños, descripción de las instalaciones de ordeña y de los procedimientos de ordeña .....	24
4.5.1.1. Caracterización de los rebaños .....	24
4.5.1.2. Descripción de las salas de ordeña .....	24
4.5.1.3. Evaluación del funcionamiento de los equipos de ordeña.....	24
4.5.1.4. Descripción de los sistemas de retiro, sujeción y alineación de las unidades de ordeña.....	25
4.5.1.5. Descripción de los modelos de pezoneras, copas de pezoneras y colectores.....	25
4.5.1.6. Descripción de los procedimientos de ordeña .....	25
4.5.2. Análisis de las características morfológicas de los pezones en el total de rebaños estudiados.....	26
4.5.2.1. Análisis descriptivo de las variables cuantitativas.....	26
4.5.2.2. Relaciones entre las variables cuantitativas.....	26
4.5.2.3. Análisis descriptivo de las variables cualitativas.....	27
4.5.3. Factores que afectan las características morfológicas cuantitativas .....	28
4.5.4. Asociaciones entre las variables morfológicas cualitativas .....	30
4.5.5. Asociaciones de las variables morfológicas cualitativas con otras variables .....	30
4.5.6. Efecto de las características morfológicas de los pezones y de otros factores sobre el recuento de células somáticas .....	31
4.5.7. Efecto de las características morfológicas de los pezones y de otros factores sobre la producción diaria de leche.....	32
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	35
5.1. Caracterización de los Rebaños y Localización del Estudio .....	35
5.1.1. Distribución de los rebaños según ubicación regional, sistema productivo y genotipo .....	35
5.1.2. Descripción estadística del número de vacas en ordeña, número de vacas evaluadas, promedios de producción diaria de leche y de recuento de células somáticas del total de rebaños .....	37
5.1.2.1. Promedios de producción diaria de leche por vaca y de recuento de células somáticas de los rebaños, según ubicación geográfica y genotipo .....	38

5.1.2.2. Distribución del número de vacas en ordeña y número de vacas evaluadas, según su ubicación regional y sistema productivo.....	40
5.2. Descripción General de las Salas de Ordeña .....	42
5.3. Caracterización de los Equipos de Ordeña .....	44
5.3.1. Parámetros de funcionamiento.....	44
5.3.1.1. Nivel de vacío .....	44
5.3.1.2. Frecuencia y relación de pulsación .....	45
5.3.2. Sistemas de retiro, sujeción y alineación de las unidades de ordeña .....	46
5.3.3. Modelos de pezoneras, copas de pezoneras y colectores.....	47
5.4. Descripción de los Procedimientos de Ordeña .....	48
5.5. Análisis de las Características Morfológicas de los Pezones en el Total de Rebaños Estudiados.....	52
5.5.1. Análisis descriptivo de las variables cuantitativas.....	52
5.5.1.1. Longitud del pezón .....	53
5.5.1.2. Diámetro en la base del pezón .....	56
5.5.1.3. Diámetro en la mitad del pezón .....	57
5.5.2. Relaciones entre las variables cuantitativas.....	60
5.5.3. Análisis descriptivo de las variables cualitativas.....	61
5.5.3.1. Forma del pezón.....	61
5.5.3.2. Forma de la punta del pezón .....	64
5.5.3.3. Dirección de los pezones anteriores.....	68
5.6. Factores que Afectan las Características Morfológicas Cuantitativas.....	69
5.6.1. Factores que afectan la longitud del pezón .....	69
5.6.1.1. Rebaño .....	70
5.6.1.2. Genotipo.....	70
5.6.1.3. Posición de los pezones .....	72
5.6.1.4. Forma del pezón.....	74
5.6.1.5. Forma de la punta del pezón .....	76
5.6.1.6. Región .....	78
5.6.1.7. Sistema productivo .....	79
5.6.1.8. Número ordinal de parto .....	80
5.6.1.9. Días en lactancia .....	82
5.6.1.10. Dirección de los pezones anteriores.....	84
5.6.2. Factores que afectan el diámetro en la base del pezón .....	84
5.6.2.1. Rebaño .....	85
5.6.2.2. Genotipo.....	86
5.6.2.3. Posición de los pezones .....	88
5.6.2.4. Forma del pezón.....	89
5.6.2.5. Forma de la punta del pezón .....	90
5.6.2.6. Región .....	92
5.6.2.7. Sistema productivo .....	93
5.6.2.8. Número ordinal de parto .....	94
5.6.2.9. Días en lactancia .....	95
5.6.2.10. Dirección de los pezones anteriores.....	96
5.6.3. Factores que afectan el diámetro en la mitad del pezón .....	97
5.6.3.1. Rebaño .....	98
5.6.3.2. Genotipo.....	98

5.6.3.3. Posición de los pezones .....	100
5.6.3.4. Forma del pezón.....	102
5.6.3.5. Forma de la punta del pezón .....	105
5.6.3.6. Región.....	107
5.6.3.7. Sistema productivo .....	108
5.6.3.8. Número ordinal de parto .....	109
5.6.3.9. Días en lactancia .....	110
5.6.3.10. Dirección de los pezones anteriores.....	112
5.7. Asociaciones entre las Variables Morfológicas Cualitativas.....	113
5.7.1. Asociación entre la forma de la punta del pezón y la forma del pezón .....	113
5.7.2. Asociación entre la forma del pezón y la dirección de los pezones anteriores.....	114
5.7.3. Asociación entre la forma de la punta del pezón y la dirección de los pezones anteriores.....	115
5.8. Asociaciones de las Variables Morfológicas Cualitativas con Otras Variables .....	115
5.8.1. Asociación entre la forma del pezón y la posición de los pezones.....	116
5.8.2. Asociación entre la forma de la punta del pezón y la posición de los pezones .....	117
5.8.3. Asociación entre la forma del pezón y el genotipo de las vacas.....	117
5.8.4. Asociación entre la forma de la punta del pezón y el genotipo de las vacas ....	118
5.8.5. Asociación entre dirección de los pezones anteriores y el genotipo de las vacas .....	120
5.8.6. Asociación entre la forma del pezón y el número ordinal de parto de las vacas .....	121
5.8.7. Asociación entre la forma de la punta del pezón y el número ordinal de parto de las vacas .....	121
5.8.8. Asociación entre dirección de los pezones anteriores y el número ordinal de parto de las vacas .....	123
5.9. Efecto de las Características Morfológicas de los Pezones y Otros Factores Sobre el Recuento de Células Somáticas .....	123
5.9.1. Forma del pezón.....	124
5.9.2. Forma de la punta del pezón .....	126
5.9.3. Dirección de los pezones anteriores.....	129
5.9.4. Diámetro en la base del pezón .....	130
5.9.5. Diámetro en la mitad del pezón .....	131
5.9.6. Longitud del pezón .....	134
5.9.7. Genotipo.....	136
5.9.8. Número ordinal de parto .....	138
5.9.9. Días en lactancia .....	139
5.9.10. Producción diaria de leche.....	140
5.9.11. Sistema productivo .....	141
5.10. Efecto de las Características Morfológicas de los Pezones y Otros Factores sobre la Producción Diaria de Leche.....	143
5.10.1. Dirección de los pezones anteriores.....	143
5.10.2. Diámetro en la base del pezón .....	144
5.10.3. Diámetro en la mitad del pezón .....	145
5.10.4. Longitud del pezón .....	147
5.10.5. Forma del pezón.....	148
5.10.6. Forma de la punta del pezón .....	150

5.10.7. Genotipo.....	151
5.10.8. Número ordinal de parto .....	153
5.10.9. Días en lactancia .....	154
5.10.10. Recuento de células somáticas.....	155
5.10.11. Sistema productivo .....	166
6. CONCLUSIONES .....	168
7. BIBLIOGRAFÍA .....	171

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Distribución de los rebaños según su ubicación regional (REG).....	36
Cuadro 2. Distribución de los rebaños según su genotipo (GEN).....	36
Cuadro 3. Distribución de los rebaños según su genotipo (GEN) y ubicación geográfica (REG).....	37
Cuadro 4. Caracterización de los rebaños según número de vacas en ordeña, número de vacas evaluadas, y promedios de producción diaria de leche (PDL) y recuento de células somáticas (RCS) .....	38
Cuadro 5. Promedios de producción diaria de leche por vaca (PDL) y de recuento de células somáticas (RCS) de los rebaños, según su ubicación geográfica (REG) y genotipo (GEN)	39
Cuadro 6. Distribución de los rebaños (REB), vacas en ordeña (VO) y vacas evaluadas (VE), según su ubicación regional (REG) y sistema productivo (SP).....	41
Cuadro 7. Descripción estadística del número de puestos por lado de 29 salas de ordeña espina de pescado* y por tipo de sala según el número de puestos por unidad de ordeña ...	42
Cuadro 8. Distribución de las salas según los esquemas de preparación de pezones preordeña .....	48
Cuadro 9. Distribución de las salas de ordeña según los procedimientos incluidos en la preparación de los pezones y desinfección postordeña de pezones (postdipping) .....	49
Cuadro 10. Descripción estadística de las variables longitud de pezón (LPE), diámetro en la base del pezón (DPE B) y diámetro en la mitad del pezón (DPE 1/2), considerando el pezón como unidad de estudio (cm).....	52
Cuadro 11. Descripción estadística de las variables longitud de pezón (LPE), diámetro en la base del pezón (DPE B) y diámetro en la mitad del pezón (DPE 1/2), considerando la vaca como unidad de estudio (cm).....	52
Cuadro 12. Frecuencias de formas de pezón (FPE), considerando el pezón como unidad de estudio.....	62
Cuadro 13. Frecuencias de formas de pezón (FPE), considerando la vaca como unidad de estudio.....	62
Cuadro 14. Frecuencias de formas de punta de pezón (FPU), considerando el pezón como unidad de estudio .....	65
Cuadro 15. Frecuencias de formas de punta de pezón (FPU), considerando la vaca como unidad de estudio .....	66
Cuadro 16. Frecuencias de dirección de los pezones anteriores (DPEA), considerando el pezón como unidad de estudio.....	68
Cuadro 17. Frecuencias de dirección de los pezones anteriores (DPEA), considerando la vaca como unidad de estudio .....	68
Cuadro 18. Longitud del pezón (cm) según el genotipo de las vacas (GEN), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1).....	71
Cuadro 19. Longitud del pezón (cm) según el genotipo de las vacas (GEN), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).....	71
Cuadro 20. Longitud del pezón (cm) según la posición de los pezones (POP), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1).....	73
Cuadro 21. Longitud del pezón (cm) según la forma del pezón (FPE), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1).....	74

Cuadro 22. Longitud del pezón (cm) según la forma del pezón (FPE), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2) .....	75
Cuadro 23. Longitud del pezón (cm) según la forma de la punta del pezón (FPU), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1) .....	76
Cuadro 24. Longitud del pezón (cm) según la forma de la punta del pezón (FPU), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).....	77
Cuadro 25. Longitud del pezón (cm) según la región (REG), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2) .....	78
Cuadro 26. Longitud del pezón (cm) según el sistema productivo (SP), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).....	79
Cuadro 27. Longitud del pezón (cm) según el número ordinal de parto (NOP), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).....	81
Cuadro 28. Longitud del pezón (cm) según días en lactancia (DEL), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2) .....	82
Cuadro 29. Longitud del pezón (cm) según la dirección de los pezones anteriores (DPEA), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).....	84
Cuadro 30. Diámetro en la base del pezón (cm) según el genotipo (GEN), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1).....	86
Cuadro 31. Diámetro en la base del pezón (cm) según el genotipo (GEN), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).....	87
Cuadro 32. Diámetro en la base del pezón (cm) según la posición de los pezones (POP), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1) .....	88
Cuadro 33. Diámetro en la base del pezón (cm) según la forma del pezón (FPE), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1) .....	89
Cuadro 34. Diámetro en la base del pezón (cm) según la forma del pezón (FPE), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).....	90
Cuadro 35. Diámetro en la base del pezón (cm) según la forma de la punta del pezón (FPU), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1) .....	90
Cuadro 36. Diámetro en la base del pezón (cm) según la forma de la punta del pezón (FPU), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).....	91
Cuadro 37. Diámetro en la base del pezón (cm) según la región (REG), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).....	93
Cuadro 38. Diámetro en la base del pezón (cm) según el sistema productivo (SP), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).....	93
Cuadro 39. Diámetro en la base del pezón (cm) según el número ordinal de parto (NOP), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).....	94
Cuadro 40. Diámetro en la base del pezón (cm) según los días en lactancia (DEL), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).....	95
Cuadro 41. Diámetro en la base del pezón (cm) según la dirección de los pezones anteriores (DPEA), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).....	96
Cuadro 42. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según el genotipo (GEN), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1).....	98
Cuadro 43. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según el genotipo (GEN), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).....	99
Cuadro 44. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según la posición de los pezones (POP), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1) .....	101

Cuadro 45. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según la forma del pezón (FPE), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1) .....	102
Cuadro 46. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según la forma del pezón (FPE), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).....	103
Cuadro 47. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según la forma de la punta del pezón (FPU), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1) .....	105
Cuadro 48. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según la forma de la punta del pezón (FPU), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).....	106
Cuadro 49. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según la región (REG), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).....	107
Cuadro 50. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según el sistema productivo (SP), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).....	108
Cuadro 51. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según el número ordinal de parto (NOP), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).....	109
Cuadro 52. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según los días en lactancia (DEL), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).....	110
Cuadro 53. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según la dirección de los pezones anteriores (DPEA), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).....	112
Cuadro 54. Frecuencias de formas de punta del pezón (FPU), según la forma del pezón (FPE).....	114
Cuadro 55. Frecuencias de formas del pezón (FPE), según la dirección de los pezones anteriores (DPEA).....	114
Cuadro 56. Frecuencias de formas de punta del pezón (FPU), según la dirección de los pezones anteriores (DPEA).....	115
Cuadro 57. Frecuencias de formas de pezón (FPE), según la posición de los pezones (POP) .....	116
Cuadro 58. Frecuencias de formas de punta de pezón (FPU), según la posición de los pezones (POP).....	117
Cuadro 59. Frecuencias de formas de pezón (FPE), según el genotipo de las vacas (GEN) .....	118
Cuadro 60. Frecuencias de formas de punta de pezón (FPU), según el genotipo de las vacas (GEN).....	119
Cuadro 61. Frecuencias de dirección de los pezones anteriores (DPEA), según el genotipo de las vacas (GEN) .....	120
Cuadro 62. Frecuencias de formas de pezón (FPE), según el número ordinal de parto de las vacas (NOP).....	121
Cuadro 63. Frecuencias de formas de punta del pezón (FPU), según el número ordinal de parto de las vacas (NOP) .....	122
Cuadro 64. Frecuencias de dirección de los pezones anteriores (DPEA), según el número ordinal de parto de las vacas (NOP) .....	123
Cuadro 65. Medias de recuento de células somáticas (RCS), según la forma del pezón (FPE).....	124
Cuadro 66. Medias de recuento de células somáticas (RCS), según la forma de la punta del pezón (FPU).....	126
Cuadro 67. Medias de recuento de células somáticas (RCS), según la dirección de los pezones anteriores (DPEA).....	129

Cuadro 68. Medias de recuento de células somáticas (RCS), según el diámetro en la base del pezón (DPE B) .....	131
Cuadro 69. Medias de recuento de células somáticas (RCS), según el diámetro en la mitad del pezón (DPE 1/2).....	131
Cuadro 70. Medias de recuento de células somáticas (RCS), según la longitud del pezón (LPE).....	134
Cuadro 71. Medias de recuento de células somáticas (RCS), según el genotipo de las vacas (GEN).....	137
Cuadro 72. Medias de recuento de células somáticas (RCS), según el número ordinal de parto de las vacas (NOP) .....	138
Cuadro 73. Medias de recuento de células somáticas (RCS), según los días en lactancia de las vacas (DEL).....	139
Cuadro 74. Medias de recuento de células somáticas (RCS), según la producción diaria de leche de las vacas (PDL).....	141
Cuadro 75. Medias de recuento de células somáticas (RCS), según el sistema productivo de las vacas (SP) .....	142
Cuadro 76. Producción diaria de leche por vaca (PDL, kg), según la dirección de los pezones anteriores (DPEA).....	143
Cuadro 77. Producción diaria de leche por vaca (PDL, kg), según el diámetro en la base del pezón (DPE B).....	144
Cuadro 78. Producción diaria de leche por vaca (PDL, kg), según el diámetro en la mitad del pezón (DPE 1/2).....	145
Cuadro 79. Producción diaria de leche por vaca (PDL, kg), según la longitud del pezón (LPE).....	147
Cuadro 80. Producción diaria de leche por vaca (PDL, kg), según la forma del pezón (FPE) .....	149
Cuadro 81. Producción diaria de leche por vaca (PDL, kg), según la forma de la punta del pezón (FPU).....	151
Cuadro 82. Producción diaria de leche por vaca (PDL, kg), según el genotipo de las vacas (GEN).....	152
Cuadro 83. Producción diaria de leche por vaca (PDL, kg), según el número ordinal de parto de las vacas (NOP) .....	153
Cuadro 84. Producción diaria de leche por vaca (PDL, kg), según los días en lactancia de las vacas (DEL).....	154
Cuadro 85. Producción diaria de leche por vaca (PDL, kg), según el recuento de células somáticas de las vacas (Ln RCS).....	156
Cuadro 86. Producción diaria de leche por vaca (PDL, kg), según el sistema productivo de las vacas (SP).....	166

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Regresión entre producción diaria de leche (PDL, kg) y puntaje de células somáticas (PCS), para el total de vacas en estudio. ....	157
Figura 2. Regresión entre producción diaria de leche (PDL, kg) y puntaje de células somáticas (PCS), para vacas de primer parto (NOP 1).....	158
Figura 3. Regresión entre producción diaria de leche (PDL, kg) y puntaje de células somáticas (PCS), para vacas de $NOP \geq 2$ . ....	158

## RESUMEN

Con el fin de evaluar la morfología de los pezones de vacas lecheras de los genotipos (GEN) Holstein Friesian (H), Frisón Negro (FN), Frisón Rojo (FR), cruza de razas rojas lecheras con FR (FR x RRL), y Jersey y sus cruza (Jc), en los principales sistemas productivos chilenos (SP), se estudiaron 30 rebaños (REB), desde la IV a la X Región (REG). Las características de tamaño se determinaron mediante un instrumento graduado en cm para la longitud del pezón (LPE), y en mm para el diámetro en la base (DPE B) y la mitad del pezón (DPE 1/2). La forma de la punta del pezón (FPU), forma del pezón (FPE) y dirección de los pezones anteriores (DPEA), se clasificaron respectivamente en: plana, redonda y puntiaguda; pera, cilindro y cono; afuera, abajo y adentro.

Se describió estadísticamente la LPE, el DPE B y DPE 1/2 del total de REB, considerando como unidad de análisis el pezón (N = 9.528) y la vaca (N = 2.382); estudiándose sus relaciones mediante análisis de correlación simple, para el total de pezones y según su posición (POP): pezones anteriores y posteriores. Se describieron las frecuencias de FPE, FPU y DPEA, respecto al total de pezones y vacas; incluyendo y excluyendo las categorías No Clasificables (NC). Los efectos sobre las características morfológicas cuantitativas se estudiaron mediante análisis de varianza, donde las unidades de análisis fueron el pezón (Modelo 1) y la vaca (Modelo 2); incluyéndose en el Modelo 1 los factores REB, GEN, POP, FPE y FPU, y en el Modelo 2 los factores GEN, FPE, FPU, REG, SP, número ordinal de parto (NOP), días en lactancia (DEL) y DPEA. Utilizando la prueba de Chi Cuadrado, se determinaron las asociaciones entre FPU, FPE y DPEA, y las asociaciones de dichas variables con los factores GEN y NOP, y de la FPU y FPE con la POP. Mediante análisis de varianza, se determinó el efecto sobre el recuento de células somáticas (LnRCS), de las características DPEA, DPE B, LPE y DPE 1/2, y los factores GEN, NOP, DEL, producción diaria de leche (PDL) y SP, excluyéndose la FPE y FPU por no afectar el LnRCS según análisis bivariados. Del mismo modo, se estudió el efecto del DPE B, DPE 1/2, LPE, FPE y FPU, y de los factores GEN, NOP, DEL, LnRCS y SP sobre la PDL, sin considerar la DPEA, por no afectar la PDL según análisis bivariados.

Los promedios de LPE, DPE B y DPE 1/2 del total de REB alcanzaron el mismo valor, en los análisis por pezón y por vaca: 4,95; 2,91 y 2,57 cm, respectivamente; observándose una variabilidad menor de estas características en el segundo análisis. Los análisis de correlación con el total de pezones, mostraron los siguientes resultados: DPE B y DPE 1/2 ( $r = 0,77$ ;  $P < 0,0001$ ), LPE y DPE B ( $r = 0,60$ ;  $P < 0,0001$ ), y LPE y DPE 1/2 ( $r = 0,51$ ;  $P < 0,0001$ ); obteniéndose valores similares al estudiar estas relaciones según la POP y en los análisis con los promedios de LPE, DPE B y DPE 1/2 por vaca. Al utilizar el pezón como unidad de análisis, se obtuvieron las siguientes frecuencias de FPE: cilindro (63,0%), pera (28,1%) y cono (8,9%); FPU: plana (47,9%), redondeada (37,8%) y puntiaguda (14,3%); DPEA: abajo (66,1%), afuera (21,2%) y adentro (12,7%). El análisis por vaca mostró el mismo ordenamiento de frecuencias para cada una de estas características.

El Modelo 1 de análisis de la LPE fue significativo ( $P < 0,0001$ ;  $r^2 = 0,40$ ); comprobándose un efecto de todos los factores analizados ( $P < 0,0001$ ). El Modelo 2 también fue significativo ( $P < 0,0001$ ;  $r^2 = 0,19$ ). Exceptuando la DPEA, los factores incluidos en el

modelo afectaron la LPE, con igual significancia ( $P < 0,0001$ ), salvo el factor REG ( $P = 0,0067$ ). La LPE (cm) correspondiente a los pezones anteriores y posteriores alcanzó a 5,73a y 4,56b. El Modelo 1 mostró las siguientes medias, para los GEN Jc (4,91a), H (5,14b), FR (5,26c), FRxRRL (5,37cd) y FN (5,43d). De acuerdo al mismo modelo, la LPE correspondiente a las FPE cilindro, pera y cono, fue 4,93a; 5,18b y 5,37c, respectivamente; alcanzando para las FPU plana, redondeada, NC y puntiaguda 4,87a; 5,17b; 5,17b y 5,42c, respectivamente. La LPE en los SP confinamiento, pastoreo y mixto fue 4,83a; 4,96b y 5,17c, respectivamente; alcanzando a 4,68a; 4,94b y 5,16c, en vacas de NOP 1, 2 y  $\geq 3$ , respectivamente, y a 4,8a; 4,98b y 5,02b, en vacas con  $\leq 100$ , 101 – 200 y  $\geq 200$  DEL, respectivamente. El Modelo 1 de DPE B fue significativo ( $P < 0,0001$ ;  $r^2 = 0,25$ ), resultando éste afectado por todos los factores ( $P < 0,0001$ ). El Modelo 2 también fue significativo ( $P < 0,0001$ ;  $r^2 = 0,28$ ), siendo el DPE B afectado por los factores GEN, FPE, SP y NOP ( $P < 0,0001$ ), DPEA ( $P = 0,0006$ ), FPU ( $P = 0,0023$ ) y REG ( $P = 0,0210$ ), pero no por DEL. El DPE B (cm) para los pezones anteriores y posteriores fue 3,15b y 2,90a. El Modelo 1 arrojó las siguientes medias de DPE B, para los GEN Jc (2,71a), H (3,07b), FR (3,09bc), FRxRRL (3,13c) y FN (3,30d). Según el mismo modelo, el DPE B de las FPE cilíndrica, pera y cono, fue 2,85a; 3,0b y 3,27c; alcanzando a 2,97a; 3,04b; 3,05b y 3,06b, para las FPU plana, redondeada, puntiaguda y NC, y a 2,86a; 2,89ab; 2,95bc y 2,98c, en las vacas con DPEA hacia adentro, abajo, NC y afuera, respectivamente. El DPE B correspondiente a los SP pastoreo, confinamiento y mixto, fue 2,88a; 2,94a y 3,16b; alcanzando respectivamente a 2,80a; 2,88b y 3,04c, en vacas de NOP 1, 2 y  $\geq 3$ . Según el Modelo 1 del DPE 1/2 ( $P < 0,0001$ ;  $r^2 = 0,26$ ), éste fue afectado por todos los factores analizados ( $P < 0,0001$ ). El modelo 2 también fue significativo ( $P < 0,0001$ ;  $r^2 = 0,35$ ), demostrando efectos de los factores GEN, FPE, SP, NOP y REG ( $P < 0,0001$ ), FPU ( $P = 0,0004$ ) y DEL ( $P = 0,0154$ ), pero no de la DPEA. El DPE 1/2 (cm) para los pezones anteriores y posteriores fue 2,69a y 2,58b. De acuerdo al Modelo 1, las medias de DPE 1/2 por GEN, fueron: Jc (2,40a), FR (2,61b), FRxRRL (2,67c), H (2,68c) y FN (2,87d). Según el mismo modelo, el DPE 1/2 alcanzó a 2,54a; 2,69b y 2,70b, para las FPE cilindro, pera y cono, y a 2,59a; 2,64b; 2,65b y 2,68c, para las FPU plana, redondeada, puntiaguda y NC, respectivamente. El DPE 1/2 correspondiente a los SP pastoreo, confinamiento y mixto, fue 2,54a; 2,65b y 2,83c; alcanzando respectivamente en vacas de NOP 1, 2 y  $\geq 3$ , a 2,49a; 2,57b y 2,69c, y a 2,58a; 2,63b y 2,57a, en vacas con  $\leq 100$ , 101 – 200 y  $\geq 200$  DEL. Se determinó una asociación entre FPE y FPU ( $P < 0,0001$ ), pero no de la DPEA con la FPE, ni con la FPU. La POP mostró una asociación con la FPE ( $P < 0,0001$ ) y la FPU ( $P = 0,0002$ ). También se observaron asociaciones del factor GEN con la FPE ( $P < 0,0001$ ), FPU ( $P < 0,0001$ ) y DPEA ( $P < 0,0001$ ); así como del NOP con la FPU ( $P = 0,0002$ ) y DPEA ( $P = 0,01$ ), pero no de dicho factor con la FPE.

El LnRCS fue afectado por la DPEA ( $P = 0,002$ ) y el DPE B ( $P = 0,003$ ), pero no por el LPE y DPE 1/2, siendo afectado también por los factores GEN, NOP, DEL, PDL y SP ( $P < 0,0001$ ). Las vacas con DPEA hacia adentro tuvieron un LnRCS mayor, respecto a las vacas con otras DPEA; incrementándose el LnRCS con el aumento del DPE B. La PDL fue afectada por las características DPE B y DPE 1/2 ( $P < 0,0001$ ), LPE ( $P = 0,01$ ), FPE ( $P = 0,0002$ ) y FPU ( $P < 0,0001$ ), y los factores GEN, NOP, DEL, LnRCS y SP ( $P < 0,0001$ ). La PDL aumentó al incrementarse el DPE B, DPE 1/2 y la LPE. La PDL de las vacas con FPE pera superó a la de las vacas con las demás FPE y fue menor en las vacas con FPU plana en comparación a vacas con otras FPU.

## SUMMARY

In order to evaluate teat morphology in dairy cows belonging to genotype (GEN) Holstein Friesian (H), Black Friesian (FN), Red Friesian (FR), crosses of red dairy breeds with FR (FRxRRL) and Jersey and its crosses (Jc) in the main Chilean production systems (SP), 30 herds (REB) located from the IV to the X regions (REG) were studied. Size traits were determined by an instrument graduated in cm for the length of the teat (LPE), and in mm for measuring teat diameter at the base (DPE B) and at the middle of the teat (DPE 1/2). The shape of the tip teat (FPU) was classified as flat, round, or pointed. Teat shape (FPE) was classified as pear, cylinder and cone. The direction of the front teats (DPEA) was classified as to the outside, below and inside.

LPE, DPE B, and DPE 1/2 for all REB were described statistically, considering teat (N = 9,528) and cow (N = 2,382) as the unit of analysis. Their relation was determined by correlation analyses, both for the total of teats and according to its position (POP; anterior and posterior). The frequencies of FPE, FPU and DPEA were described, both including and excluding a non-classifiable category (NC). The effects on quantitative morphological traits were studied by analysis of variance, where the units of analysis were the teat (Model 1) and the cow (Model 2). In Model 1 the factors REB, GEN, POP, FPE, and FPU were included, and in Model 2 the factors were GEN, FPE, FPU, REG, SP, parity (NOP), days in milk (DEL) and DPEA were considered. Chi-square tests were performed to determine the association between FPU, FPE and DPEA, and the association of these variables with GEN and NOP, and the association between FPU and FPE with POP. Variation in somatic cell count (LnRCS) was analyzed by analysis of variance considering the effects of DPEA, DPE B, LPE, DPE 1/2, and the factors GEN, NOP, DEL, daily milk production (PDL) and SP. The factors FPE and FPU were excluded because it did not affect LnRCS, as shown in previous bivariate analysis. A similar analysis was performed for PDL, considering the effects of DPE B, DPE 1/2, LPE, FPE and FPU and the factors GEN, NOP, DEL, LnRCS and SP. The effect of DPEA was not considered because it did not affect PDL, as demonstrated in a previous bivariate analysis.

Mean values for LPE, DPE B and DPE 1/2 from all REB were the same, either calculated from the analyses made by teat or by cow, being 4.95 cm, 2.91 cm, and 2.57 cm, respectively, with less variability in the latter analysis. For the total of teats the correlations were: DPE B and DPE 1/2:  $r = 0.77$  ( $P < 0.0001$ ), LPE and DPE B:  $r = 0.60$  ( $P < 0.0001$ ), and LPE and DPE 1/2:  $r = 0.51$  ( $P < 0.0001$ ). Similar values were found when studying these relationships according to the POP and in analyses with the averages of LPE, DPE B, y DPE 1/2 by cow. Considering the teat as the unit of analysis, the observed frequencies were: for FPE: 63.0% cylinder, 28.1% pear, and 8.9% cone. For FPU: 47.9% flat, 37.8% rounded and 14.3% pointed. For DPEA: 66.1% down, 21.2% outside and 12.7% inside. Analysis by cow showed the same order of frequencies for each trait.

Model 1 analysis of LPE was significant ( $P < 0.0001$ ;  $r^2 = 0.40$ ); with a significant effect of all the factors analyzed ( $P < 0.0001$ ). Model 2 was also significant ( $P < 0.0001$ ;  $r^2 = 0.19$ ): All the factors included in this model, except DPEA, had a significant effect on LPE. The level of significance was the same for all the factors ( $P < 0.0001$ ), except for REG ( $P =$

0.0067). Mean LPE for anterior and posterior teats were 5.73b cm and 4.56a cm, respectively. According to Model 1, mean LPE by GEN were: Jc: 4.91a, H: 5.14b, FR: 5.26c, FRxRRL: 5.37cd, and FN 5.43d. With the same model, mean LPE according to FPE was 4.93a cm, 5.18b cm, and 5.37c cm, for cylinder, pear and cone shape, respectively. Regarding FPU, mean LPE for flat, rounded, NC and pointed teats was 4.87a cm, 5.17b cm, 5.17b cm, and 5.42c cm respectively. Mean LPE in SP confined, pasture and mixed was 4.83a cm, 4.96b cm, and 5.17c cm, respectively. In cows with NOP 1, 2 and  $\geq 3$ , mean LPE was 4.68a cm, 4.94b cm, and 5.16c cm, respectively, and in cows with  $\leq 100$ , 101 – 200 and  $\geq 200$  DEL, mean LPE was 4.8a cm, 4.98b cm, and 5.02b cm, respectively.

For DPE B, Model 1 was significant ( $P < 0.0001$ ;  $r^2 = 0.25$ ), being affected by all the factors ( $P < 0.0001$ ). Model 2 was also significant ( $P < 0.0001$ ;  $r^2 = 0.28$ ), being DPE B affected by GEN, FPE, SP y NOP ( $P < 0.0001$ ), DPEA ( $P = 0.0006$ ), FPU ( $P = 0.0023$ ) and REG ( $P = 0.0210$ ), but not by DEL. DPE B for front and rear teats was 3.15a cm and 2.90b cm, respectively. According to Model 2, mean DPE B, for the different GEN were: Jc: 2.71a cm, H: 3.07b cm, FR: 3.09bc cm, FRxRRL: 3.13c cm, and FN: 3.30d cm. Mean DPE B for FPE being cylinder, pear and cone was 2.85a cm, 3.0b cm, and 3.27c cm, respectively. For FPU flat, rounded, pointed, and NC mean DPE B was 2.97a cm, 3.04b cm, 3.05b cm, and 3.06b cm, respectively. Mean DPE B was 2.86a cm, 2.89ab cm, 2.95bc cm, and 2.98c cm in cows with DPEA inwards, down, NC and outside, respectively. According to the SP, DPE B for SP pasture, confinement and mixed, was 2.88a cm, 2.94a cm, and 3.16b cm, respectively, and 2.80a cm, 2.88b cm, and 3.04c cm in cows with NOP 1, 2 y  $\geq 3$ , respectively. According to model 1, DPE 1/2 ( $P < 0.0001$ ;  $r^2 = 0.26$ ), was affected by all the factors analyzed ( $P < 0.0001$ ). Model 2 was also significant ( $P < 0.0001$ ;  $r^2 = 0.35$ ), with significant effect of factors GEN, FPE, SP, NOP and REG ( $P < 0.0001$ ), FPU ( $P = 0.0004$ ) and DEL ( $P = 0.02$ ), but not from DPEA. DPEA for front and rear teats was 2.69a cm y 2.58b cm, respectively. According to Model 1, mean DPE 1/2 for GEN were: Jc: 2.40a cm, FR: 2.61b cm, FRxRRL: 2.67c cm, H: 2.68c cm, and FN: 2.87d cm. According to the same model, DPE 1/2 was 2.54a; 2.69b y 2.70b, for FPE cylinder, pear and cone, and 2.59a cm, 2.64b cm, 2.65b cm, and 2.68c cm for FPU flat, rounded, NC and pointed, respectively. DPE 1/2 for SP pasture, confinement and mixed, was 2.54a cm, 2.65b cm, and 2.83c cm; and for cows of NOP 1, 2 and  $\geq 3$ , it was 2.49a cm, 2.57b cm, and 2.69c cm, respectively. For cows with  $\leq 100$ , 101 – 200 y  $\geq 200$  DEL, mean DPE 1/2 was 2.58a cm, 2.63b cm, and 2.57a cm, respectively. Association between FPE and FPU ( $P < 0.0001$ ) was observed, but no for DPEA with FPE or FPU. POP was associated with FPE ( $P < 0.0001$ ) and FPU ( $P = 0.0002$ ). Association of GEN with FPE ( $P < 0.0001$ ), FPU ( $P < 0.0001$ ) and DPEA ( $P < 0.0001$ ) was also observed, as well as of NOP with FPU ( $P = 0.0002$ ), and DPEA ( $P = 0.01$ ), but not of NOP with FPE.

LnRCS was significantly affected by DPEA ( $P = 0.002$ ) and DPE B ( $P = 0.003$ ), but not by LPE and DPE 1/2. LnRCS was also affected for GEN, NOP, DEL, PDL and SP ( $P < 0.0001$ ). Cows with DPEA inwards had a higher LnRCS, respective to cows with other DPEA. LnRCS increased with increased DPE B. PDL was determined by DPE B and DPE 1/2 ( $P < 0.0001$ ), LPE ( $P = 0.01$ ), FPE ( $P = 0.0002$ ) y FPU ( $P < 0.0001$ ), and the factors GEN, NOP, DEL, LnRCS and SP ( $P < 0.0001$ ). PDL increased when DPE B, DPE 1/2 and LPE increased. PDL from cows with FPE pear was higher to that of cows with other FPE and was lower in cows with FPU flat in comparison to cows with other FPU.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La morfología de la ubre y los pezones de las vacas lecheras, constituye parte de las diversas características utilizadas en la evaluación genética y selección de los toros. En general, la selección ha estado orientada a disminuir el tamaño de los pezones, pero todavía se observan grandes variaciones individuales y entre rebaños, tanto en las características de tamaño como de forma. Para lograr una mayor uniformidad en la morfología de los pezones, es necesario conocer los principales factores que afectan estas características, tanto a nivel de rebaño, como de la vaca y cuarto mamario, e identificar otros factores potencialmente relacionados, cuya importancia no ha sido suficientemente estudiada, como la raza o el genotipo de las vacas.

Pese a la variabilidad existente en las características morfológicas de los pezones, todas las vacas de un rebaño se ordeñan mecánicamente con iguales parámetros de funcionamiento, y el mismo tipo de unidad de ordeña y de pezoneras; situación que ocasionaría efectos adversos en los rendimientos de ordeña, salud mamaria y condiciones de los pezones en algunos animales. Entre los factores propios de la máquina de ordeña, el diseño de las pezoneras es el que tiene el efecto más importante sobre las características de ordeña. El uso de pezoneras que no se ajusten a las características morfológicas predominantes de un rebaño, puede aumentar el tiempo de ordeña por vaca e incrementar el riesgo de mastitis, asociado a aumentos en la transmisión de infecciones, e irritación mamaria y de los pezones. En consecuencia, debido a la interacción entre el pezón y la pezonera, la morfología de los pezones es una consideración importante en la elección del tipo de pezoneras más adecuado para un determinado rebaño.

Por otra parte, aunque se observa una variabilidad entre los resultados de las investigaciones, existen antecedentes que permiten suponer que algunas características morfológicas de los pezones pueden afectar de manera importante tanto la susceptibilidad a mastitis como el rendimiento lácteo de las vacas.

Considerando lo expuesto y dado que en el país no se han efectuado investigaciones a gran escala sobre este tema, siendo además la mayor parte de la literatura internacional referente a morfología de pezones relativamente antigua, es que se diseñó el presente estudio, con el propósito de evaluar la morfología de los pezones de vacas lecheras de distintos genotipos, manejadas en los principales sistemas productivos utilizados en Chile. Es así como, la presente memoria de título está orientada a describir las características morfológicas de los pezones, estudiar las relaciones o asociaciones entre dichas características, analizar algunos factores que puedan afectar las características morfológicas de los pezones, y evaluar su efecto sobre el recuento de células somáticas y la producción de leche. La información generada podría ser utilizada en otra investigación, para evaluar la compatibilidad de algunos factores asociados al ordeño con las características morfológicas predominantes de los pezones de los rebaños lecheros chilenos.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Morfología de Pezones: Antecedentes Generales e Importancia

Las características morfológicas del pezón y de la ubre, por su moderada a alta heredabilidad, son criterios importantes en la evaluación y selección de bovinos lecheros. La heredabilidad de la longitud del pezón fluctúa entre 0,25 y 0,60; mientras que la heredabilidad del diámetro del pezón varía entre 0,32 y 0,67; siendo la forma de la punta altamente heredable (Seykora y McDaniel, 1985a). Seykora y McDaniel (1985b) estimaron los siguientes valores para las heredabilidades de la longitud del pezón, diámetro del pezón, forma del pezón y forma de la punta del pezón: 0,59; 0,37; 0,37 y 0,67; respectivamente.

En consecuencia, tanto las características morfológicas cuantitativas como cualitativas de los pezones, serían rápidamente modificables mediante selección genética. Al respecto, debería tenerse presente que las características morfológica de los pezones representan una pequeña proporción dentro del total de características de importancia económica consideradas en la selección de toros, siendo además necesario analizar las implicancias que pudiese tener la selección por características morfológicas de pezones en cuanto a susceptibilidad a mastitis, producción de leche, ordeñabilidad y la acción de la máquina de ordeña sobre el pezón.

Aunque la selección genética durante las últimas décadas ha estado orientada a disminuir la longitud y el diámetro de los pezones, aún existe una variación considerable en el tamaño y forma de los pezones, entre rebaños y vacas de un mismo rebaño (Weiss *et al.*, 2004; Zwervaegher *et al.*, 2011).

**Morfología de pezones y mastitis.** El tamaño y la forma del pezón se relacionarían con la resistencia a mastitis, aunque no hay consenso respecto a la importancia de cada característica, observándose además una variabilidad importante entre los resultados de distintas investigaciones.

Longitud del pezón: La susceptibilidad a mastitis aumentaría a medida que se incrementa la longitud del pezón, debido a que los pezones más largos se verían más expuestos a lesiones y/o deslizamientos de pezoneras (Seykora y McDaniel, 1986; Rogers *et al.*, 1991). Además, por su mayor cercanía al suelo, los pezones más largos enfrentarían un mayor riesgo de infecciones intramamarias (Slettbakk *et al.*, 1995).

Así, por ejemplo, Rocha (1978) determinó frecuencias significativamente crecientes de cuartos positivos a mastitis clínica y subclínica, al comparar entre si pezones cortos (< 5,9 cm), medianos (6 – 7,9 cm) y largos (> 8,0 cm). Higgins *et al.* (1980), comprobaron una relación positiva y estadísticamente significativa entre longitud del pezón y recuento de células somáticas, la cual se evidenció sólo en los cuartos posteriores.

En cambio, otros autores no han encontrado una relación significativa entre la longitud del pezón y el recuento de células somáticas (Seykora y McDaniel, 1986; Palma, 2006; Coban *et al.*, 2009; Zwertvaegher, 2012), ni entre esta característica morfológica del pezón y prevalencia de infecciones intramamarias (Binde y Bakke, 1984), mastitis clínica (Neijenhuis *et al.*, 2001), mastitis clínica y subclínica (Hickman, 1964), y mastitis subclínica, mastitis clínica y mastitis por *Staphylococcus aureus* (Bakken, 1981).

Diámetro en la base y en la mitad del pezón: Aunque se ha comprobado que el recuento de células somáticas aumenta a medida que se incrementa el diámetro del pezón, en varios estudios no se ha encontrado una asociación entre ambas variables. Las diferencias en los métodos de medición de las dimensiones de los pezones, las variaciones en los indicadores de mastitis utilizados, así como en los métodos estadísticos y otros factores, explicarían los resultados contradictorios de las investigaciones.

Varios autores han demostrado que el recuento de células somáticas aumenta significativamente a medida que se incrementa el diámetro medio del pezón (Higgins *et al.*, 1980; Seykora y McDaniel, 1986; Chrystal *et al.*, 1999; Coban *et al.*, 2009; Zwertvaegher, 2012); lo que según Chrystal *et al.* (1999), se debería a que los pezones de mayor diámetro tienden a tener orificios y conductos del pezón más anchos, haciéndolos más susceptibles a

nuevas infecciones intramamarias. En otro estudio, donde no se señala el punto de medición del diámetro del pezón, también se demostró la existencia de una correlación positiva con el recuento individual de células somáticas (Palma, 2006).

Los resultados de otros estudios, también sugieren que el incremento del diámetro del pezón sería un factor de riesgo de mastitis subclínica (Higgins *et al.*, 1980), mastitis clínica (Slettbak *et al.*, 1995) y de ambas formas de mastitis (Hickman, 1964), aunque los análisis estadísticos realizados en estos trabajos no permitirían demostrar claramente dichas relaciones.

En otras investigaciones, no se ha comprobado la existencia de una asociación del diámetro de la zona media del pezón con la prevalencia de mastitis clínica (Bakken, 1981), ni con la prevalencia de infecciones intramamarias (Binde y Bakke, 1984). Zwertvaegher (2012), no encontró una relación significativa entre el recuento de células somáticas de leche de cuartos y el diámetro en la base del pezón.

Forma del pezón: En su revisión de literatura, Seykora y McDaniel (1985a) concluyen que no obstante haberse demostrado una relación entre la forma del pezón y mastitis, los resultados de varios estudios indicarían escasa o ninguna relación entre la forma del pezón y la incidencia de mastitis subclínica.

Rathore (1976), determinó un promedio de recuento de células somáticas significativamente mayor en vacas con pezones de forma cilíndrica, comparado con el obtenido en vacas con pezones en forma de embudo (cono): 440.621 y 207.888 cél/ml, respectivamente ( $P < 0,01$ ). Según Seykora y McDaniel (1985a), la menor susceptibilidad a mastitis de los pezones en forma de embudo (cono), se explicaría por su mayor resistencia al trepamiento de las pezoneras, por lo que se ordeñarían más completamente y experimentarían menos erosiones en la punta del pezón, respecto a los pezones en forma cilíndrica y de botella (pera). Los resultados de Hickman (1964), también mostrarían una mayor susceptibilidad a mastitis para los pezones cilíndricos, comparados con los pezones en forma de embudo (cono) y botella (pera).

De acuerdo a los resultados de Higgins *et al.* (1980), la susceptibilidad a mastitis subclínica sería más elevada en los pezones con forma de botella (pera), comparados con los pezones en forma de embudo (cono) y cilindro; mientras que los resultados obtenidos por Bakken (1981), indicarían una mayor susceptibilidad a las mastitis causadas por *Staphylococcus aureus* para los pezones en forma de embudo (cono), respecto a los pezones con forma de cilindro, aunque otros indicadores de mastitis evaluados en el mismo estudio no se relacionaron significativamente con la forma del pezón.

Otros autores, concluyen que la forma del pezón no se relacionaría con la susceptibilidad a mastitis (Rocha, 1978; Binde y Bakke, 1984).

Forma de la punta del pezón: Aunque no se ha establecido claramente una relación entre la forma de la punta del pezón y mastitis, se ha señalado que, en general, las vacas con puntas de pezones redondeadas serían menos susceptibles a las infecciones intramamarias, comparadas con las vacas con puntas de pezones puntiagudas, invertidas, o en forma de disco. Los pezones puntiagudos se verían expuestos a más daños del orificio del conducto, mientras que los pezones con puntas invertidas presentarían conductos de pezón de mayor diámetro, los cuales son menos resistentes a la invasión bacteriana (NMC, 1996).

Sin embargo, en varios trabajos no se ha observado la existencia de una relación entre la forma de la punta del pezón, y la susceptibilidad a mastitis subclínica y clínica (Bakken, 1981; Chrystal *et al.*, 1999), o ésta no se ha podido demostrar claramente (Binde y Bakke, 1984; Slettbak *et al.*, 1990).

**Morfología de pezones y producción de leche.** La revisión bibliográfica no muestra resultados consistentes sobre la relación que pudiera existir entre la longitud del pezón y la producción de leche. Así, Rogers y Spencer (1991), observaron una relación positiva entre longitud del pezón y rendimiento lácteo, pero ésta sólo fue estadísticamente significativa para los cuartos posteriores. En contraposición, Hickman (1964), verificó una relación negativa y estadísticamente significativa, entre longitud del pezón y producción de leche hasta los 180 días de lactancia.

Por otra parte, a partir de sus resultados, Zwertvaegher (2012) concluye que no habría una relación significativa entre longitud del pezón y producción de leche, lo que coincide con lo señalado por otros autores, en el sentido que la longitud del pezón no influiría mayormente sobre características productivas como producción de leche y producción de grasa (Seykora y McDaniel, 1985b; 1986).

Análogamente a lo descrito para la longitud del pezón, los antecedentes bibliográficos consultados no indicarían claramente una asociación entre el diámetro del pezón y el rendimiento lácteo.

Si bien Rogers y Spencer (1991) determinaron relaciones significativas del rendimiento lácteo por vaca, tanto con el diámetro de los pezones anteriores como de los posteriores, Hickman (1964), no demostró una relación significativa entre el diámetro en la mitad del pezón y la producción de leche acumulada a los 180 días de lactancia. Según Seykora y McDaniel (1985b; 1986), el diámetro del pezón no afectaría de manera importante la producción de leche, ni la producción de grasa, analizadas ambas como producción madurez equivalente (ME).

Los autores recién citados (Seykora y McDaniel, 1985b; 1986), también señalan que la forma del pezón, tampoco afectaría mayormente la producción de leche ME y la producción de grasa ME.

Lo anterior sería consistente con los resultados de Hickman (1964), los cuales muestran diferencias pequeñas y no significativas en la producción de leche acumulada a los 180 días de lactancia, entre vacas con pezones en forma de cilindro, embudo (cono) y botella (pera). Análogamente, Tilki *et al.* (2005), no encontraron diferencias significativas en la producción por lactancia entre vacas con pezones cónicos y vacas con pezones cilíndricos, aunque comprobaron una producción real por lactancia significativamente menor, en los animales con pezones en forma de pera (botella), respecto a las vacas con las otras dos formas de pezones, pero las diferencias no fueron significativas al considerar la producción proyectada a 305 días de lactancia.

Por otra parte, se ha descrito una producción diaria de leche significativamente mayor, para las vacas con pezones en forma de cono, respecto a las con pezones cilíndricos; lo que reflejaría una menor frecuencia de trepamiento de pezoneras y una ordeña más completa en los animales con pezones cónicos (Rathore, 1975). Estos resultados se verían corroborados por los de otro estudio (Rathore, 1976), donde al comparar 617 vacas con pezones en forma de cono con 592 vacas con pezones cilíndricos, se determinaron diferencias significativas en los promedios de producción diaria de leche ( $P < 0,01$ ): 20,9 y 17,6 kg; respectivamente.

Con respecto a la relación que pudiera existir entre la forma de la punta del pezón y producción de leche, el único estudio encontrado en la revisión bibliográfica fue el realizado por Seykora y McDaniel (1985b). Dichos autores concluyen que la forma de la punta del pezón no se relacionaría con el rendimiento lácteo de la vacas.

**Morfología de pezones y ordeñabilidad.** En general, las vacas con pezones cortos se ordeñan más rápida y completamente que las vacas con pezones largos. El diámetro de los pezones no afectaría la velocidad de ordeña, pero las vacas con pezones de diámetro menor se ordeñarían más completamente (Seykora y McDaniel, 1985a).

No obstante lo señalado anteriormente, los resultados obtenidos por Rogers y Spencer (1991), indicarían que los pezones con diámetros más anchos se asocian a una mayor producción de leche e incremento en los tiempos de ordeña; mientras que los resultados de Weiss *et al.* (2004), no denotarían una relación entre ordeñabilidad y características medibles de los pezones, como longitud y diámetro.

No se ha demostrado claramente una relación entre la forma del pezón y ordeñabilidad (Seykora y McDaniel, 1985a). En cambio, la forma de la punta del pezón podría afectar la velocidad de ordeña, considerando los promedios de tiempo de ordeña/día de 16,1; 14,0; 12,8 y 10,7 min, determinados por Neijenhuis *et al.* (2000), para vacas con puntas de pezón puntiaguda, redondeada, plana e invertida, respectivamente.

**Morfología de pezones y ordeña mecánica.** La acción que ejerce la máquina de ordeña sobre el pezón, depende del nivel de vacío del equipo, los parámetros de pulsación, el tipo de pezonera y la forma del pezón (Neijenhuis *et al.*, 2000).

Pese a la variabilidad de la morfología de los pezones, todas las vacas de un determinado rebaño son ordeñadas mecánicamente con los mismos parámetros de funcionamiento; pudiendo ello ocasionar efectos adversos en los rendimientos de ordeña, salud mamaria y condiciones de los pezones de algunas vacas (Zwertvaegher *et al.*, 2011). Además, las características morfológicas de los pezones, constituyen un aspecto a menudo descuidado en la selección del tipo de pezonera más apropiado para un rebaño o en el desarrollo de nuevos diseños de pezoneras; pese a que ello puede afectar el rendimiento de leche de repaso, los deslizamientos de pezoneras, el tiempo de ordeña por vaca y la acción de masaje sobre el pezón (Baert *et al.*, 2008).

Rogers y Spencer (1991), demostraron que los deslizamientos de pezoneras y ajustes manuales de las unidades de ordeña, aumentaban significativamente al incrementarse el diámetro de los pezones; observando una tendencia de incremento en los deslizamientos al aumentar la longitud del pezón. Los mismos autores concluyen que la forma de la punta del pezón, no se relacionaría de manera importante con los deslizamientos de pezoneras y ajustes manuales de la unidad de ordeña. De acuerdo a los resultados obtenidos por Rathore (1975), los deslizamientos de pezoneras serían significativamente mayores en vacas con pezones de forma cilíndrica que en vacas con pezones en forma de embudo.

Otra característica morfológica que podría influir en los deslizamientos de pezoneras y ajustes de unidades, es la dirección de los pezones anteriores respecto al centro de los cuartos. Las frecuencias de deslizamientos y de ajustes podrían ser más elevadas en las vacas con los pezones anteriores hacia afuera o hacia adentro de los cuartos, comparadas con aquellas cuyos pezones se ubican en el centro de los cuartos y se proyectan perpendicularmente hacia abajo (Aceituno, 2011).<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Aceituno, F. 2011. Médico Veterinario. Gerente General DeLaval S.A. (entrevista). Osorno. Chile

Por otra parte, el trepamiento de las pezoneras se relacionaría con la forma de los pezones, como lo revelan los resultados de Rathore (1975), quien comprobó que la frecuencia de trepamiento fue significativamente mayor en las vacas con pezones cilíndricos (27,4%), comparada con la de vacas con pezones en forma de cono (8,1%).

## **2.2. Características Morfológicas de los Pezones Bovinos**

**Longitud del pezón.** La literatura muestra una variabilidad importante en lo referente a esta característica morfológica del pezón, reflejando probablemente diferencias entre estudios en aspectos tales como número de animales evaluados, raza, métodos de medición de la longitud del pezón y efectos eventuales de otros factores.

Así, se han informado promedios de longitud del pezón que han alcanzado valores de 4,65 cm (primera evaluación) y 4,91 cm (segunda evaluación), (Binde y Bakke, 1984); 4,8 cm (Neijenhuis *et al.*, 2001) y 5,24 cm (Orban *et al.*, 2009). Además de la variabilidad entre estudios, parece haber una variabilidad importante en la longitud del pezón dentro de un rebaño o de un mismo grupo de rebaños sometidos a evaluación, como queda de manifiesto en los resultados de Bakken (1981), quién determinó las siguientes frecuencias de vacas para las categorías de longitud  $\leq 39$ , 40-49, 50-59 y  $\geq 60$  mm: 10,5; 61,1; 26,8 y 1,6%, respectivamente.

**Diámetro del pezón.** Probablemente debido al mismo tipo de razones señaladas para la longitud del pezón, también existen variaciones importantes entre estudios en cuanto al diámetro del pezón. Como se desprende de los trabajos consultados y de la revisión de literatura de Zwervaegher (2012), en la mayoría de las investigaciones se ha utilizado la zona media del pezón para medir su diámetro, existiendo menos estudios que informen el diámetro del pezón en su base o en la punta.

Dado que en la gran mayoría de los estudios, los promedios de diámetro del pezón se informan por separado para los cuartos anteriores y posteriores, estos antecedentes se

consignan en el factor posición de los pezones, dentro del conjunto de factores que afectan las dimensiones de los pezones.

Sólo se encontró un estudio, donde se entrega el promedio de diámetro medio para los cuatro pezones, el cual alcanzó valores de 2,2 y 2,3 cm, en la primera y segunda evaluación realizadas en dicho trabajo, respectivamente (Binde y Bakke, 1984). Otro estudio, informa las siguientes frecuencias de vacas para las categorías de diámetro en la mitad del pezón  $\leq 18$ , 19-21, 22-24, 25-27 y  $\geq 28$  mm: 8,4; 42,7; 41,7; 6,0 y 1,2%; respectivamente (Bakken, 1981).

**Forma del pezón.** Generalmente se clasifica en tres categorías; embudo (o cono), cilindro y botella (o pera), pareciendo ser la cilíndrica la más frecuente (Seykora y McDaniel, 1985a).

En el estudio de Hickman (1964), la forma predominante fue la cilíndrica, con una frecuencia de más del doble que la alcanzada por la forma de cono, estando escasamente representada la forma de botella. Binde y Bakke (1984), clasificaron 661 pezones, comprobando también un predominio de los pezones cilíndricos (56,9%), pero la diferencia respecto a los pezones con forma de cono fue menos aparente (42,1%), encontrando sólo un 1% de pezones con forma de pera o semipera. En un estudio de 504 vacas raza Rojo Noruego, Bakken (1981) utilizó cinco categorías, determinando respectivamente un 1,6; 58,9 y 39,5% de vacas con pezones en forma de embudo (cono), semiembudo (semicono) y cilíndrica; sin encontrar formas de pera ni semipera.

En cambio, los resultados de Riera-Nieves *et al.* (2006), al evaluar la forma del pezón en vacas de tres razas lecheras, indican que en todas las razas el embudo (cono) fue la forma más común, seguida por la forma cilíndrica, siendo la menos frecuente la forma de botella (pera). Rathore (1976), analizó sólo pezones en forma de embudo y cilindro, determinando frecuencias similares para ambas categorías.

**Forma de la punta del pezón.** Las categorías para esta característica varían entre tres a ocho, siendo cinco las más utilizadas: puntiaguda, redondeada, plana, disco o en forma de plato, e invertida (Seykora y McDaniel, 1985a). La diversidad de categorías utilizadas en su clasificación, dificultaría la evaluación de esta característica y limitaría la comparación de los resultados entre algunos estudios.

Existen variaciones importantes entre estudios en las frecuencias de formas de punta de pezón, atribuibles en parte al carácter subjetivo de su evaluación, aunque la forma redondeada parece ser la más común. Las frecuencias de vacas según formas de la punta del pezón determinadas por Bakken (1981), fueron: 5% planas; 37,6% semiplanas; 45,1% redondeadas; 11,5% semipuntiagudas; 0,8% puntiagudas. Las formas más comunes encontradas por Neijenhuis *et al.* (2000), fueron las redondeada, puntiaguda y plana e invertida: 43, 31 y 13%, respectivamente. Riera-Nieves *et al.* (2006), también comprobaron un predominio de la forma redondeada, seguida de la puntiaguda. Por su parte, Binde y Bakke (1984) determinaron las siguientes frecuencias de forma de puntas de pezón: redondeada (43,8%), plana (28,1%) y puntiaguda (28,1%).

Otros autores, también han comprobado que la forma más frecuente de punta del pezón es la redondeada (Chrystal *et al.*, 1999; Neijenhuis, *et al.*, 2001).

**Relaciones entre las características morfológicas de los pezones.** No existen muchos antecedentes bibliográficos, sobre las relaciones o asociaciones que pudieran existir entre las diversas características morfológicas de los pezones.

Bakken (1981) determinó correlaciones positivas y estadísticamente significativas, entre el diámetro en la mitad del pezón y la longitud de los pezones, pero no encontró una asociación aparente entre la forma del pezón y la forma de la punta del pezón. Análogamente, Seykora y McDaniel (1986), concluyen que la longitud y el diámetro medido en la mitad del pezón se encuentran correlacionados estrechamente.

Aún cuando no estaría suficientemente establecido, se ha sugerido que habría relación entre el tamaño y la forma de los pezones; informándose una mayor longitud y menor diámetro para los pezones cilíndricos, respecto a los con forma cónica (Bakken, 1981; Binde y Bakke, 1984).

Los resultados obtenidos por Hickman (1964), sugieren que la forma del pezón estaría asociada a su posición, observándose que con respecto a los pezones anteriores, los pezones posteriores presentaban una menor frecuencia de formas de cilindro y una mayor frecuencia de forma de pera. Sin embargo, los resultados de otros estudios, indican que la forma de los pezones no parece estar relacionada con la posición de los cuartos (Higgins *et al.*, 1980; Riera-Nieves *et al.*, 2006).

Con respecto a la relación que podría haber con la dirección de los pezones anteriores, Higgins *et al.* (1980) concluyen que los pezones anteriores dispuestos verticalmente, son significativamente más cortos y de menor diámetro que los dispuestos no perpendicularmente.

### **2.3. Factores que Afectan la Morfología de Pezones**

**Posición de los cuartos.** De acuerdo a la revisión bibliográfica de Zwertvaegher (2012), los pezones anteriores son más largos y de un diámetro igual o levemente menor que los posteriores. Ello se vería corroborado por los resultados de algunos trabajos, en lo referente a la longitud del pezón. Por ejemplo, Higgins *et al.* (1980), comprobaron que los pezones anteriores fueron aproximadamente 1 cm más largos que los pezones posteriores, pero el diámetro en la base de los pezones anteriores fue un poco más ancho que el de los pezones posteriores, sin observarse diferencias importantes en cuanto al diámetro medio.

En numerosos trabajos, se ha demostrado que los pezones anteriores son de longitud mayor que los posteriores, determinándose en varios de ellos que las diferencias de longitud según la posición de los pezones son estadísticamente significativas (Higgins *et al.*, 1980; Bakken, 1981; Binde y Bakke, 1984; Seykora y McDaniel, 1986; Rogers y Spencer, 1991; Weiss *et al.*, 2004; Zwertvaegher *et al.*, 2011; 2012).

Los promedios de longitud de los pezones anteriores y posteriores determinados en algunos de los estudios recién citados, han alcanzado respectivamente a 49,9 y 43,3 mm (Bakken, 1981); 5,36 y 4,52 cm (Seykora y McDaniel, 1986); 58,7 y 49,2 mm (Rogers y Spencer, 1991); 6,65 y 5,65 cm (Weiss *et al.*, 2004).

Con respecto a los promedios de diámetro en la mitad del pezón, correspondientes respectivamente a los pezones anteriores y posteriores, estos han mostrado valores de 2,44 y 2,52 cm (Higgins *et al.*, 1980); 21,7 y 21,4 mm (Bakken, 1981); 25 y 25,8 mm (Rogers y Spencer, 1991); 27 y 28 mm (Weiss *et al.*, 2004).

Se encontró un solo estudio donde se informan promedios de diámetro en la base del pezón, para los cuartos anteriores y posteriores: 3,64 y 3,38 cm; respectivamente (Higgins *et al.*, 1980).

**Número ordinal de parto.** Este factor afecta de manera importante la longitud de los pezones. Evaluando 2.715 pezones de 683 vacas Holstein, en 15 rebaños de Bélgica, Zwertvaegher *et al.* (2011), determinaron aumentos significativos de la longitud del pezón con el incremento del número ordinal de parto; resultado que se vería corroborado por los obtenidos en otros estudios (Binde y Bakke, 1984; Zwertvaegher *et al.*, 2012).

En los estudios de Zwertvaegher *et al.* (2012), las medias de mínimos cuadrados de longitud del pezón, para vacas de 1, 2 y 3 o más lactancias, alcanzaron respectivamente a 4,9; 5,1 y 5,3 cm (estudio transversal), y 5,2; 5,5 y 5,7 cm (estudio longitudinal). De acuerdo a Rasmussen *et al.* (1998), las vacas multíparas tendrían 10 mm más de longitud del pezón que los animales de primera lactancia; mientras que los resultados de Seykora y

McDaniel (1986), indicarían un aumento de aproximadamente un 10% en la longitud del pezón desde la primera a la cuarta lactancia.

El diámetro del pezón también aumenta a medida que se incrementa el número ordinal de parto, aunque Zwertvaegher (2012) señala que este aumento no siempre ha sido estadísticamente significativo; como se ha demostrado para el diámetro en la mitad del pezón (Binde y Bakke, 1984; Zwertvaegher *et al.*, 2011; 2012), y el diámetro en la base del pezón (Zwertvaegher *et al.*, 2012). En este último estudio, se obtuvieron las siguientes medias de mínimos cuadrados, para el diámetro proximal del pezón, en vacas de 1, 2 y  $\geq 3$  partos, respectivamente: 2,7; 2,8 y 2,9 cm (estudio transversal,  $P < 0,001$ ), y 2,8; 3,0 y 3,1 cm (estudio longitudinal,  $P < 0,001$ ).

**Etapas de lactancia.** El efecto de la etapa de lactancia sobre la longitud del pezón, es menos evidente que el observado para el efecto del número ordinal de parto. De acuerdo a Zwertvaegher *et al.* (2012), aunque no existe consenso respecto a la importancia del efecto de la etapa de la lactancia sobre la longitud del pezón, la mayoría de los estudios describirían un incremento de la longitud del pezón durante los primeros meses de lactancia.

Basados en los resultados de su estudio transversal, Zwertvaegher *et al.* (2012), concluyen que la longitud del pezón experimentaría un incremento leve después de alcanzar el valor mínimo durante los primeros 30 días de lactancia (4,91 cm), obteniéndose el promedio más elevado entre los días 121 – 180 (5,20 cm); mientras que en su estudio longitudinal, el incremento de la longitud del pezón después de los primeros 30 días en lactancia, fue estadísticamente significativo e importante en magnitud, experimentando pocos cambios durante el resto de la lactancia.

Por otra parte, los resultados de Binde y Bakke (1984), al igual que los de Orban *et al.* (2009), reflejarían un aumento significativo tanto de la longitud como del diámetro del pezón con el avance de la lactancia.

Zwertvaegher *et al.* (2012), demostraron un efecto significativo de los días de lactancia sobre el diámetro en la base del pezón, tanto en el estudio transversal ( $P < 0,001$ ), como en el longitudinal ( $P < 0,001$ ); describiendo en el estudio transversal un patrón de variación, caracterizado por una disminución significativa del diámetro en la base del pezón durante la lactancia temprana, para posteriormente estabilizarse hasta el término de la lactancia.

Zwertvaegher *et al.* (2011) determinaron descensos significativos en el diámetro proximal y medio de los pezones con el avance de la lactancia ( $P < 0,001$ ), lo que según dichos autores no estaría dentro de lo esperado de acuerdo a la literatura; aunque en algunos estudios se ha informado que el diámetro de los pezones disminuye con el transcurso de la lactancia (Seykora y McDaniel, 1986).

Zwertvaegher *et al.* (2012), también demostraron un efecto significativo de los días de lactancia sobre el diámetro medio del pezón, tanto en el estudio transversal ( $P < 0,001$ ), como en el longitudinal ( $P < 0,001$ ); describiendo una tendencia de disminución del diámetro en la base y en la mitad del pezón durante la lactancia temprana y una posterior disminución leve o estabilización.

Al respecto, Zwertvaegher *et al.* (2012), señalan que los resultados de las investigaciones del efecto de la etapa de lactancia sobre los diámetros de los pezones pueden ser contradictorios, lo que sería atribuible a variaciones entre estudios en lo referente a clasificaciones de las etapas de lactancia, pudiendo probablemente haber otras causas que fueron mencionadas al analizar el efecto del factor etapa de lactancia sobre la longitud del pezón.

Los resultados contradictorios obtenidos en distintos estudios para la longitud y el diámetro del pezón, serían atribuibles a los distintos criterios utilizados para clasificar las etapas de la lactancia, pudiendo influir también los cambios en la longitud y el diámetro del pezón asociados eventualmente a variaciones en el rendimiento lácteo, interacciones con la máquina de ordeña, así como efectos asociados a la edad o estado de preñez (Zwertvaegher *et al.*, 2012).

**Raza.** Las características morfológicas de los pezones, también se verían afectadas por la raza o genotipo de las vacas, siendo la longitud del pezón la característica que se relacionaría mayormente con dicho factor (Zwertvaegher *et al.*, 2012). Aun cuando se dispone de antecedentes bibliográficos para la longitud y diámetros de los pezones de distintas razas lecheras (Zwertvaegher, 2012), se han realizado pocos estudios que evalúen el efecto del factor raza o genotipo sobre las características morfológicas cuantitativas y cualitativas de los pezones.

En un trabajo que incluyó 11 rebaños, con animales de raza Holstein, Carora y Jersey (403, 1.263 y 118 vacas, respectivamente), Riera-Nieves *et al.* (2006), demostraron un efecto significativo del factor raza sobre la forma del pezón, comprobando que la más frecuente en las vacas Holstein fue la cilíndrica, seguida de las formas de cono y botella; mientras que en las vacas Carora y Jersey, predominaba la forma cónica. Este factor también afectó significativamente el tamaño del pezón, alcanzando los promedios de longitud correspondientes a las razas Carora, Holstein y Jersey a 5,9; 5,4 y 5,3 cm, y los de diámetro en la parte más ancha del pezón a 2,3; 2,2 y 2,1 cm, respectivamente. No hubo diferencias significativas entre genotipos en la forma de la punta de pezón.

El estudio recién citado indicaría bastante similitud en el tamaño de los pezones de las razas Holstein y Jersey, lo que sería compatible con los resultados de Heins *et al.* (2008), quienes compararon en dos rebaños experimentales, sólo la longitud del pezón de vacas primíparas Jersey x Holstein (N = 76) y Holstein (N = 73), sin encontrar diferencias estadísticamente significativas: 4,5 y 4,5 cm; respectivamente.

**Otros factores.** Además de los mencionados previamente, otros factores como el sistema productivo utilizado y la localización geográfica de los rebaños, podrían afectar las características morfológicas de los pezones. No obstante, este tipo de factores no afectaría directamente la morfología de los pezones, sino más bien debido a efectos indirectos de factores variables entre sistemas productivos o ubicaciones geográficas, tales como raza o genotipo, promedio de número ordinal de parto y distribución de los partos a lo largo del año.

En la revisión bibliográfica sobre características morfológicas del pezón y sistemas productivos, se encontró un solo estudio realizado con vacas Jersey x Holstein, donde se determinaron diferencias estadísticamente significativas en la longitud de los pezones anteriores ( $P < 0,01$ ), entre vacas manejadas en un sistema en confinamiento con cubículos (4,7 cm) y vacas en pastoreo (4,3 cm), aunque los autores no entregan una explicación clara de dicha diferencia (Heins *et al.*, 2008).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo General**

Estudiar la morfología de los pezones de vacas lecheras, en los principales sistemas productivos y genotipos utilizados en Chile.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

Describir las variables morfológicas cuantitativas y cualitativas de los pezones.

Estudiar las relaciones entre las características morfológicas cuantitativas del pezón (longitud, diámetro en la base y diámetro en la mitad del pezón).

Analizar las asociaciones entre las características morfológicas cualitativas del pezón (forma del pezón, forma de la punta y dirección de los pezones anteriores).

Analizar las asociaciones de las características morfológicas cualitativas de los pezones, con su posición, genotipo y número ordinal de parto de las vacas.

Evaluar el efecto de algunos factores sobre las características morfológicas cuantitativas del pezón.

Evaluar el efecto de las características morfológicas de los pezones y de otros factores sobre el recuento de células somáticas.

Evaluar el efecto de las características morfológicas de los pezones y de otros factores sobre la producción de leche.

Caracterizar los rebaños y aportar información para evaluar en estudios futuros la compatibilidad de algunos factores asociados al ordeño, con las características morfológicas predominantes de los pezones.

## 4. MATERIAL Y MÉTODOS

### 4.1. Localización del Estudio y Selección de los Rebaños

El estudio se realizó a nivel de terreno entre Mayo y Noviembre de 2012, ambos meses inclusive, abarcando rebaños lecheros ubicados en distintas regiones del país, desde la IV Región de Coquimbo hasta la X Región de Los Lagos, considerando como primer criterio que cada región aportara un número de rebaños representativo de su importancia relativa dentro del total de los rebaños con Control Lechero Oficial (CLO) de COOPRINSEM. El segundo criterio de selección fue la importancia relativa de las razas o genotipos de los rebaños, cuyo número para las siguientes razas y cruzas se determinó también basado en la información del Control Lechero Oficial de COOPRINSEM (Lama, 2011)<sup>2</sup>: Holstein Friesian (H), Frisón Negro (FN), Frisón Rojo (FR), cruzas de razas rojas lecheras con FR (FR x RRL), y Jersey y sus cruzas (Jc). En el genotipo Jc, se incluyó la raza Jersey, y sus cruzas con las razas H (J x H), FR (J x FR) y con varias razas denominadas en conjunto razas rojas lecheras (RRL). Entre éstas, las más comunes eran la Holstein Rojo, Ayrshire y Rojo Sueca; las cuales también se utilizaban en cruzamientos con la raza FR. En la selección de los rebaños, además se tomó en cuenta la información de Lanuza (2012), referente a razas utilizadas en distintos sistemas productivos y su ubicación geográfica por macrozonas homogéneas de Chile.

Finalmente, de los predios preseleccionados, se incluyeron los que contaban con registros que permitiesen confirmar el genotipo de los animales (GEN), y obtener los antecedentes individuales de número ordinal de parto (NOP), días en lactancia (DEL), producción diaria de leche (PDL) y recuento de células somáticas (RCS); excluyendo aquellos con salas de ordeña cuyos diseños dificultaran la visión (salas con unidades de ordeña colocadas por detrás de las vacas) y/o manipulación de la ubre (salas tipo jaula y de salida frontal, con puestos de ordeña demasiado grandes, en relación al tamaño de las vacas), para evaluar la morfología de los pezones.

---

<sup>2</sup> Lama, J. 2011. Médico Veterinario. Director Departamento de Control Lechero, COOPRINSEM (entrevista). Osorno. Chile

## **4.2. Determinación del Número de Rebaños y de Animales**

En las investigaciones sobre diversos aspectos de la morfología de los pezones de vacas lecheras, no se encontraron antecedentes que permitieran fundamentar la elección de una determinada cantidad de rebaños y animales para evaluar las variables morfológicas de los pezones, de acuerdo a los objetivos planteados en esta memoria. Debido a ello, se decidió trabajar con un total de 30 rebaños, número muy superior a los utilizados en la mayoría de los estudios consultados. Para establecer el número mínimo de animales por rebaño, se consideró como referencia las recomendaciones de Mein *et al.* (2001), para evaluar las condiciones de los pezones, según las cuales deberían examinarse todos los pezones de al menos 80 vacas, o de un mínimo de 20% de las vacas en rebaños  $\geq 400$  vacas, incluyendo todos los grupos de manejo. Estas recomendaciones fueron aplicadas en la evaluación morfológica de los pezones de las vacas de todos los rebaños en estudio, excepto en tres rebaños manejados a pastoreo; correspondiendo dos de ellos al genotipo FN, el cual se encontró representado sólo en rebaños muy pequeños (9 y 15 vacas en ordeña, cada uno) y otro al genotipo Jc, con 72 vacas en ordeña al momento de la evaluación.

## **4.3. Caracterización de los Rebaños y Factores Asociados a la Ordeña**

Basado en una planilla de registro (Anexo 1), se obtuvo información sobre algunos aspectos que permitieron caracterizar los rebaños en estudio en base al sistema productivo utilizado (SP), considerando para tal efecto tres sistemas productivos básicos: pastoreo, confinamiento permanente y mixto (confinamiento y pastoreo). Además, se extrajeron los siguientes antecedentes del resumen mensual del rebaño del CLO: raza, producción diaria de leche por vaca (PDL), recuento de células somáticas (RCS) y número de vacas en ordeña (VO), a los cuales se agregó el número de vacas en que se efectuó la evaluación morfológica de los pezones (VE).

En la misma planilla de registro, se recopiló información básica destinada a identificar el diseño de la sala de ordeña, su tipo según el número de puestos por unidad de ordeña (línea simple y línea doble) y describir el número de puestos por lado. Además, se registraron los

siguientes antecedentes del equipo de ordeña: altura de la línea de leche, número de unidades de ordeña, tipo de pulsación, sistemas de retirado de las unidades, sistemas de sujeción y alineamiento de las unidades, marca y modelo de las pezoneras, colectores y copas de pezoneras.

Para evaluar el funcionamiento de los equipos de ordeña, se procedió a realizar al menos dos mediciones del nivel de vacío de trabajo, frecuencia de pulsación y relación de pulsación, basado en lo establecido en la Norma ISO 6690 (ISO, 2007), mediante un instrumento de medición portátil (DeLaval VPR 25®). Una vez obtenida esta información, se calcularon los promedios de estas variables para cada una de los equipos evaluados. No se midió la configuración de los retiradores automáticos, considerándose para este estudio la configuración por defecto establecida por el fabricante de los retiradores más frecuentemente utilizados.

Finalmente, en la misma planilla (Anexo 1), se consignaron los procedimientos incluidos en la preparación de los pezones y el tiempo transcurrido desde el inicio de la preparación hasta la colocación de las unidades de ordeña, registrándose además si se realizaba o no desinfección post ordeña de pezones (postdipping).

#### **4.4. Protocolo de Evaluación de la Morfología de los Pezones**

Las evaluaciones morfológicas de los pezones se efectuaron siempre con el consentimiento de los propietarios o administradores, en una fecha acordada previamente, con el compromiso de entregarles posteriormente un informe descriptivo de las características morfológicas de los pezones observadas en sus rebaños, lo cual fue cumplido en la totalidad de los casos.

No se evaluaron animales con alteraciones manifiestas de la ubre y/o los pezones (edema mamario, mastitis clínica, lesiones severas de los pezones). Las evaluaciones se efectuaron en la segunda ordeña diaria, basado en la inspección visual, siempre por la misma persona, siguiendo un orden preestablecido, encargándose otra persona de transferir los datos a una

planilla de registro (Anexo 2). Esta planilla se utilizó para estructurar una base de datos, a la cual se agregaron los siguientes antecedentes individuales: NOP, DEL, PDL y RCS.

Estos antecedentes fueron obtenidos del control lechero mensual más reciente a la fecha en que se efectuó la evaluación morfológica de los pezones. Las vacas de una raza o genotipo distinto a la raza correspondiente al rebaño según el CLO de COOPRINSEM, fueron excluidas de la evaluación morfológica de los pezones.

La evaluación de la morfología de los pezones de cada vaca se realizó antes de su ordeña, previo a la preparación, incluyendo las características forma de la punta del pezón (FPU), forma del pezón (FPE), dirección de los pezones anteriores (DPEA), longitud del pezón (LPE), diámetro en la base del pezón (DPE B) y diámetro en la mitad del pezón (DPE 1/2).

Las tres primeras características se clasificaron en las siguientes categorías; FPU: plana, redonda y puntiaguda; FPE: pera, cilindro y cono; DPEA: afuera, abajo y adentro. Las formas intermedias, se incluyeron en una de las tres categorías más similares. Las características de tamaño se determinaron introduciendo cada pezón en un instrumento transparente (DeLaval Teat Measuring Tool®), graduado en centímetros para la LPE, midiéndose la LPE desde la base de la ubre hasta la punta del pezón. Mediante el mismo instrumento, graduado en milímetros para determinar los diámetros del pezón, se midieron el DPE B 1 cm por debajo de la base de la ubre, y el DPE 1/2 aproximadamente en la mitad del pezón (Anexo 2).

## **4.5. Análisis de Resultados**

### **4.5.1. Caracterización de los rebaños, descripción de las instalaciones de ordeña y de los procedimientos de ordeña**

#### 4.5.1.1. Caracterización de los rebaños

Se caracterizó el total de los rebaños en estudio en base a la descripción estadística del número de vacas en ordeña, el número de vacas en que se efectuó la evaluación morfológica de los pezones, y de los promedios mensuales de producción diaria de leche (PDL) y de recuento de células somáticas (RCS).

La caracterización de los rebaños incluyó también la descripción de los promedios mensuales de producción diaria de leche por vaca (PDL) y de recuento de células somáticas (RCS), según su ubicación regional y genotipo; así como la descripción de la distribución del número de vacas en ordeña y del número de vacas evaluadas, según su ubicación regional y sistema productivo.

#### 4.5.1.2. Descripción de las salas de ordeña

Se realizó una descripción general de las salas de ordeña de los predios participantes en el estudio, la cual consideró básicamente la descripción estadística del número de puestos por lado, para el total de salas y por tipo de sala, según el número de puestos por unidad de ordeña (línea simple y línea doble). Además, se estableció la distribución de frecuencias del número de puestos por lado del total salas.

#### 4.5.1.3. Evaluación del funcionamiento de los equipos de ordeña

Con respecto a los parámetros de funcionamiento, en el caso del nivel de vacío, se realizó una descripción estadística de esta variable, de acuerdo a la altura de la línea de leche de los equipos. Además, se calculó la distribución de salas según rangos, para las frecuencias de

pulsación y relaciones de pulsación determinadas en cada instalación. Estas variables de funcionamiento fueron evaluadas en relación a los valores recomendados por Spencer (1997), en el caso del nivel de vacío, y considerando los rangos recomendables de relación y frecuencia de pulsación propuestos por O'Callaghan *et al.* (1989).

#### 4.5.1.4. Descripción de los sistemas de retiro, sujeción y alineación de las unidades de ordeña

Se determinaron las frecuencias de sistemas de retirado de las unidades de ordeña (automático o manual), calculándose también las frecuencias de los sistemas de sujeción y alineación de las unidades.

#### 4.5.1.5. Descripción de los modelos de pezoneras, copas de pezoneras y colectores

Se identificaron las marcas y los modelos de las pezoneras, copas de pezoneras y colectores de las unidades de ordeña, describiéndose sus frecuencias correspondientes dentro del total de cada uno de estos elementos.

Al igual que para la configuración de los retiradores automáticos, esta información será analizada posteriormente por el fabricante de los modelos de pezoneras, copas de pezoneras y colectores mayormente utilizados, quien evaluará la compatibilidad de estos elementos en cada equipo y seleccionará los modelos de pezoneras más recomendables, de acuerdo a las características morfológicas predominantes de los pezones en los rebaños en estudio.

#### 4.5.1.6. Descripción de los procedimientos de ordeña

Dentro de los procedimientos de ordeña, se estudió la preparación de pezones preordeña, analizándose descriptivamente la distribución de salas según el esquema de preparación utilizado y los procedimientos incluidos en la preparación. Además, se determinó el nivel de adopción de la desinfección postordeña de pezones (dipping).

No se analizó el tiempo de colocación de las unidades de ordeña después de iniciada la preparación, porque la evaluación de las características morfológicas de los pezones alteró la rutina de trabajo de los ordeñadores, enlenteciendo los tiempos de rutina de trabajo habituales.

#### **4.5.2. Análisis de las características morfológicas de los pezones en el total de rebaños estudiados**

##### 4.5.2.1. Análisis descriptivo de las variables cuantitativas

El análisis de las características morfológicas cuantitativas de los pezones para el total de rebaños, incluyó en primer término la descripción estadística de las variables longitud de pezón (LPE), diámetro en la base del pezón (DPE B) y diámetro en la mitad del pezón (DPE 1/2). Dado que en algunas investigaciones la descripción de las características morfológicas de los pezones se hace respecto al total de pezones evaluados y, en otras, en relación al total de vacas en estudio, se efectuaron dos análisis descriptivos de las variables morfológicas cuantitativas; considerando uno el pezón (N = 9.528) y, el otro, la vaca como unidad de estudio (N = 2.382). En ambos análisis, no se incluyeron 170 vacas con uno o más cuartos secos.

##### 4.5.2.2. Relaciones entre las variables cuantitativas

Las relaciones entre las características morfológicas cuantitativas, se estudiaron mediante análisis de correlación simple entre las variables LPE, DPE B y DPE 1/2, para el total de pezones (N = 9.528) y por separado para los pezones anteriores y posteriores. Además, se realizaron análisis de correlación simple utilizando los promedios de LPE, DPE B y DPE 1/2 por vaca (N = 2.382).

#### 4.5.2.3. Análisis descriptivo de las variables cualitativas

La descripción de las características morfológicas forma del pezón (FPE), forma de la punta del pezón (FPU) y dirección de los pezones anteriores (DPEA), se realizó para cada una de estas variables en términos de frecuencias de categorías relativas al total de pezones y de vacas en estudio; incluyendo y excluyendo las FPE, FPU y DPEA No Clasificables (NC). Además, se determinaron las frecuencias de FPE y FPU según la posición de los pezones. A estos análisis tampoco se incorporaron aquellas vacas que presentaron uno o más cuartos secos.

En el análisis por vaca, se categorizaron como vacas con FPE NC a las que dentro de la misma ubre tenían distintas combinaciones de formas de pezón. En el análisis en que se utilizó el pezón como unidad de estudio, se designó como FPU NC aquellas que presentaron un puntaje  $\geq 2$  para la condición de la punta del pezón (hiperqueratosis), debido a que dificultaban clasificar adecuadamente esta variable dentro de algunas de las categorías en estudio; mientras que en el análisis por vaca se consideraron como animales con FPU NC, aquellos que mostraban combinaciones de FPU y/o algún pezón evaluado con un puntaje de hiperqueratosis  $\geq 2$ . En el análisis de la DPEA para el total de vacas en estudio, se incluyó en la categoría DPEA NC a las vacas cuyos pezones anteriores presentaban distintas direcciones.

Para evaluar la hiperqueratosis de la punta del pezón, se utilizó una escala de puntaje desde 1 a 4, basada en el siguiente sistema de clasificación (Mein *et al.*, 2001): 1 (sin anillo), 2 (anillo liso o levemente rugoso), 3 (anillo rugoso) y 4 (anillo muy rugoso).

### 4.5.3. Factores que afectan las características morfológicas cuantitativas

Los efectos de algunos factores sobre las características morfológicas cuantitativas (LPE, DPE B y DPE 1/2), se estudiaron mediante análisis de varianza y la prueba de Tukey para determinar las diferencias entre promedios, estableciéndose que éstas eran estadísticamente significativas, con un nivel de significancia  $\leq 0,05$ . Para ello, se emplearon dos modelos estadísticos, donde las unidades de análisis utilizadas fueron el pezón (Modelo 1) y la vaca (Modelo 2).

Modelo 1:

$$y = \mu + \text{REBi} + \text{GENj} + \text{POPk} + \text{FPEl} + \text{FPUm} + \text{Eijklmn}$$

Donde:

y = variable dependiente de característica morfológica cuantitativa.

$\mu$  = media poblacional.

REBi = efecto del i-ésimo rebaño [i = 1 (1); i = 2 (2); i = 3 (3); i = 4 (4); i = 5 (5); i = 6 (6); i = 7 (7); i = 8 (8); i = 9 (9); i = 10 (10); i = 11 (11); i = 12 (12); i = 13 (13); i = 14 (14); i = 15 (15); i = 16 (16); i = 17 (17); i = 18 (18); i = 19 (19); i = 20 (20); i = 21 (21); i = 22 (22); i = 23 (23); i = 24 (24); i = 25 (25); i = 26 (26); i = 27 (27); i = 28 (28); i = 29 (29); i = 30 (30)].

GENj = efecto del j-ésimo genotipo [j = 1 (H); j = 2 (FN); j = 3 (FR); j = 4 (FR x RRL); j = 5 (Jc)].

POPk = efecto de la k-ésima posición de los pezones [k = 1 (anterior); k = 2 (posterior)].

FPEl = efecto de la l-ésima forma del pezón [l = 1 (pera); l = 2 (cilindro); l = 3 (cono)].

FPUm = efecto de la m-ésima forma de punta del pezón [m = 1 (plana); m = 2 (redondeada); m = 3 (puntiaguda)].

Eijklmn = error experimental.

Modelo 2:

$$y = \mu + \text{GEN}_i + \text{FPE}_j + \text{FPU}_k + \text{REG}_l + \text{SP}_m + \text{NOP}_n + \text{DEL}_{\tilde{n}} + \text{DPEA}_o + \text{Eijklmñop}$$

Donde:

$y$  = variable dependiente de característica morfológica cuantitativa.

$\mu$  = media poblacional.

$\text{GEN}_i$  = efecto del  $i$ -ésimo genotipo [ $i = 1$  (H);  $i = 2$  (FN);  $i = 3$  (FR);  $i = 4$  (FR x RRL);  $i = 5$  (Jc)].

$\text{FPE}_j$  = efecto de la  $j$ -ésima forma del pezón [ $j = 1$  (pera);  $j = 2$  (cilindro);  $j = 3$  (cono)].

$\text{FPU}_k$  = efecto de la  $k$ -ésima forma de punta del pezón [ $k = 1$  (plana);  $k = 2$  (redondeada);  $k = 3$  (puntiaguda)].

$\text{REG}_l$  = efecto de la  $l$ -ésima región [ $l = 1$  (IV);  $l = 2$  (V);  $l = 3$  (VI);  $l = 4$  (VII);  $l = 5$  (VIII);  $l = 6$  (IX);  $l = 7$  (XIV);  $l = 8$  (X);  $l = 9$  (RM)].

$\text{SP}_m$  = efecto del  $m$ -ésimo sistema productivo [ $m = 1$  (pastoreo);  $m = 2$  (confinamiento);  $m = 3$  (mixto)].

$\text{NOP}_n$  = efecto del  $n$ -ésimo número ordinal de parto [ $n = 1$  (1);  $n = 2$  (2);  $n = 3$  ( $\geq 3$ )].

$\text{DEL}_{\tilde{n}}$  = efecto de la  $\tilde{n}$ -ésima etapa de lactancia, en días [ $\tilde{n} = 1$  ( $\leq 100$ );  $\tilde{n} = 2$  (101 - 200);  $\tilde{n} = 3$  ( $> 200$ )].

$\text{DPEA}_o$  = efecto de la  $o$ -ésima dirección de los pezones anteriores [ $o = 1$  (afuera);  $o = 2$  (abajo);  $o = 3$  (adentro)].

$\text{Eijklmñop}$  = error experimental.

Adicionalmente, se estimó la contribución de los factores analizados, a la variación de las características morfológicas cuantitativas explicada por cada modelo estadístico. Para ello, se calculó la proporción representada por la suma de cuadrados de cada factor, dentro de la suma de cuadrados del modelo. La proporción de la suma de cuadrados del modelo, respecto a la suma de cuadrado total, corresponde al coeficiente de determinación ( $r^2$ ). Mientras más elevado es el valor del  $r^2$ , mayor es la variación de la variable dependiente explicada por el modelo estadístico.

El mismo tipo de procedimiento, se utilizó para estudiar la importancia relativa de las fuentes de variación del recuento de células somáticas y de la producción diaria de leche.

#### **4.5.4. Asociaciones entre las variables morfológicas cualitativas**

El estudio de las asociaciones entre las variables morfológicas cualitativas, se realizó utilizando los resultados obtenidos para estas variables considerando la vaca como unidad de análisis. Mediante la prueba de Chi Cuadrado de Pearson, se analizó si la distribución de frecuencias de formas de punta del pezón (FPU), era afectada por la forma del pezón (FPE); utilizándose la misma prueba estadística para analizar las frecuencias de formas de pezón (FPE) y de formas de punta de pezón (FPU), según la dirección de los pezones anteriores (DPEA).

#### **4.5.5. Asociaciones de las variables morfológicas cualitativas con otras variables**

Se analizó las asociaciones de las variables FPE, FPU y DPEA, con las variables genotipo (GEN) y número ordinal de parto (NOP), utilizando también la vaca como unidad de análisis. Para estudiar la asociación de cada una de estas variables morfológicas con la posición de los pezones, se consideró el pezón como unidad de análisis. Utilizando también la prueba de Chi Cuadrado de Pearson, se analizó si la posición de los pezones (POP), afectaba las distribuciones de frecuencias de formas de pezón (FPE) y de formas de punta de pezón (FPU); analizándose de manera similar el efecto que pudieran ejercer los factores genotipo (GEN) y número ordinal de parto de las vacas (NOP) sobre las variables forma del pezón (FPE), forma de la punta del pezón (FPU) y dirección de los pezones anteriores (DPEA).

#### 4.5.6. Efecto de las características morfológicas de los pezones y de otros factores sobre el recuento de células somáticas

El modelo estadístico de análisis del efecto de los factores que afectan el recuento individual de células somáticas, transformado logarítmicamente para normalizar estadísticamente la distribución de los datos (Ln RCS), incluyó cuatro características morfológica de los pezones (DPEA, DPE B, LPE y DPE 1/2). Las variables FPE y FPU no fueron consideradas en el modelo, debido a que los análisis bivariados previos demostraron que ninguna de las dos características afectó significativamente el Ln RCS ( $P > 0,05$ ). En el modelo estadístico de análisis de varianza del LnRCS que aparece a continuación, se incluyeron además los siguientes factores: GEN, NOP, DEL, PDL y SP. El análisis de las diferencias entre promedios se realizó mediante la prueba de Tukey, con un nivel de significancia estadística  $\leq 0,05$ .

$$y = \mu + DPEAi + DPE Bj + DPE 1/2k + LPEl + GENm + NOPn + DELñ + PDL o + SPp + Eijklmñopq$$

Donde:

y = variable dependiente LnRCS.

$\mu$  = media poblacional.

DPEAi = efecto de la i-ésima dirección de los pezones anteriores [i = 1 (afuera); i = 2 (abajo); i = 3 (adentro)].

DPE Bj = efecto del j-ésimo diámetro en la base del pezón, en cm [j = 1 (1,88 – 2,63); j = 2 (2,63 – 3,13); j = 3 (3,13 – 5,13)].

DPE 1/2k = efecto del k-ésimo diámetro en la mitad del pezón, en cm [k = 1 (1,63 – 2,38); k = 2 (2,38 – 2,75); k = 3 (2,75 – 4,25)].

LPEl = efecto de la l-ésima longitud del pezón, en cm [l = 1 (2,78 – 4,38); l = 2 (4,38 – 5,5); l = 3 (5,5 – 10)].

GENm = efecto del m-ésimo genotipo [m = 1 (H); m = 2 (FN); m = 3 (FR); m = 4 (FR x RRL); m = 5 (Jc)].

NOPn = efecto del n-ésimo número ordinal de parto [n = 1 (1); n = 2 (2); n = 3 ( $\geq 3$ )].

DEL $\tilde{n}$  = efecto de la  $\tilde{n}$ -ésima etapa de lactancia, en días [ $\tilde{n} = 1 (\leq 100)$ ;  $\tilde{n} = 2 (101 - 200)$ ;  $\tilde{n} = 3 (> 200)$ ].

PDL $o$  = efecto del  $o$ -ésimo nivel de producción por vaca/día, en kg [ $o = 1 (\leq 14)$ ;  $o = 2 (14 - 30)$ ;  $o = 3 (30 - 66,8)$ ].

SP $p$  = efecto del  $p$ -ésimo sistema productivo [ $p = 1$  (pastoreo);  $p = 2$  (confinamiento);  $p = 3$  (mixto)].

Eijklm $\tilde{n}$ opq = error experimental.

Las categorías de DPE B, DPE 1/2, LPE y PDL se establecieron en base a la distribución de cada una de estas variables en cuartiles, correspondiendo las categorías 1 y 3 al primer y cuarto cuartil, y la categoría 2 a los dos cuartiles centrales que incluyen la media y la mediana. Complementariamente, mediante análisis de correlación simple, se estudió la relación del Ln RCS individual con las variables DPE B, DPE 1/2 y LPE.

#### **4.5.7. Efecto de las características morfológicas de los pezones y de otros factores sobre la producción diaria de leche**

Mediante análisis de varianza y la prueba de Tukey, utilizando un nivel de significancia estadística  $\leq 0,05$ ; se estudió el efecto que pudieran tener las características morfológicas DPE B, DPE 1/2, LPE, FPE y FPU, sobre la producción diaria de leche por vaca (PDL). En un análisis bivariado previo, se determinó que la variable DPEA no afectó significativamente la PDL ( $P > 0,05$ ), por lo que no se incluyó en el modelo estadístico. A continuación se presenta el modelo estadístico utilizado, donde además de las variables morfológicas de los pezones, se incorporaron los factores GEN, NOP, DEL, Ln RCS y SP.

$$y = \mu + \text{DPE Bi} + \text{DPE } 1/2j + \text{LPEk} + \text{FPEl} + \text{FPUm} + \text{GENn} + \text{NOPñ} + \text{DELo} + \text{LnRCSp} \\ + \text{SPq} + \text{Eijklmñopqr}$$

Donde:

y = variable dependiente PDL.

$\mu$  = media poblacional.

DPE Bi = efecto del i-ésimo diámetro en la base del pezón, en cm [i = 1 (1,88 – 2,63); i = 2 (2,63 – 3,13); i = 3 (3,13 – 5,13)].

DPE 1/2j = efecto del j-ésimo diámetro en la mitad del pezón, en cm [j = 1 (1,63 – 2,38); j = 2 (2,38 – 2,75); j = 3 (2,75 – 4,25)].

LPEk = efecto de la k-ésima longitud del pezón, en cm [k = 1 (2,78 – 4,38); k = 2 (4,38 – 5,5); k = 3 (5,5 – 10)].

FPEl = efecto de la l-ésima forma del pezón [l = 1 (pera); l = 2 (cilindro); l = 3 (cono)].

FPUm = efecto de la m-ésima forma de punta del pezón [m = 1 (plana); m = 2 (redondeada); m = 3 (puntiaguda)].

GENn = efecto del n-ésimo genotipo [n = 1 (H); n = 2 (FN); n = 3 (FR); n = 4 (FR x RRL); n = 5 (Jc)].

NOPñ = efecto del ñ-ésimo número ordinal de parto [ñ = 1 (1); ñ = 2 (2); ñ = 3 ( $\geq 3$ )].

DELo = efecto de la o-ésima etapa de lactancia, en días [o = 1 ( $\leq 100$ ); o = 2 (101 - 200); o = 3 ( $> 200$ )].

LnRCSp = efecto del p-ésimo nivel de Ln RCS [p = 1 (0,70 – 1,56); p = 2 (1,56 – 2,39); p = 3 (2,39 - 4)].

SPq = efecto del q-ésimo sistema productivo [q = 1 (pastoreo); q = 2 (confinamiento); q = 3 (mixto)].

Eijklmñopqr = error experimental.

Las categorías de DPE B, DPE 1/2, LPE y LnRCS se establecieron en base a la distribución de cada una de estas variables en cuartiles, correspondiendo las categorías 1 y 3 al primer y cuarto cuartil, y la categoría 2 a los dos cuartiles centrales que incluyen la media y la mediana.

Complementariamente, se estudió la relación de la PDL con las variables DPE B, DPE 1/2 y LPE, mediante análisis de correlación simple.

Finalmente, se efectuaron análisis de regresión simple entre la PDL y los recuentos individuales transformados logarítmicamente a puntajes de células somáticas (PCS), para el total de vacas y según su NOP (1, 2,  $\geq 2$  y  $\geq 3$ ). Además de normalizar la distribución de frecuencias del RCS (Ali y Shook, 1980), el PCS permite evaluar apropiadamente la relación entre producción de leche y recuento de células somáticas, estableciendo una relación lineal entre ambas variables, que posibilita estimar de manera sencilla las pérdidas productivas asociadas a cada unidad de incremento del PCS (NMC, 1996).

Los análisis de resultados se realizaron utilizando el Software Estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2012).

## **5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **5.1. Caracterización de los Rebaños y Localización del Estudio**

#### **5.1.1. Distribución de los rebaños según ubicación regional, sistema productivo y genotipo**

El estudio incluyó 30 rebaños lecheros (REB), ubicados desde la IV a la X Región del país (REG), todos con Control Lechero Oficial de COOPRINSEM al día, seleccionados según genotipo y ubicación regional, intentando que estos rebaños reflejaran la importancia relativa de las principales razas lecheras y cruzas utilizadas en las regiones lecheras más importantes del país, basado en la información del Control Lechero Oficial de COOPRINSEM (Lama, 2011)<sup>3</sup> y considerando adicionalmente la información sobre razas, sistemas productivos (SP) y ubicación geográfica contenida en el Informe del Proyecto “Identificación y monitoreo de sistemas productivos de leche competitivos por macrozonas homogéneas en Chile”, realizado por Lanuza (2012).

El cuadro 1 muestra la distribución de los rebaños por ubicación geográfica. Las Regiones IV, V y Metropolitana estuvieron representadas por 4 predios, caracterizados por utilizar un sistema de producción intensiva, con confinamiento permanente, y alimentación basada en alfalfa, ensilaje de maíz, y uso de concentrados y subproductos en altos niveles. En la VIII Región se incluyeron 2 lecherías, una de las cuales utiliza un sistema de producción en confinamiento similar al recién descrito y la otra un sistema mixto de producción (pastoreo y confinamiento permanente de parte del rebaño). En las Regiones IX, XIV y X, se estudiaron 24 predios con una diversidad de sistemas basados en el pastoreo, los cuales representan un 80% del total de predios evaluados.

---

<sup>3</sup> Lama, J. 2011. Médico Veterinario. Director Departamento de Control Lechero, COOPRINSEM (entrevista). Osorno. Chile

Cuadro 1. Distribución de los rebaños según su ubicación regional (REG)

REG	N	%
IV	1	3,3
V	1	3,3
RM	2	6,7
VIII	2	6,7
IX	2	6,7
XIV	7	23,3
X	15	50,0

La mayoría de los rebaños (56,7%), estaba conformado por vacas del genotipo Holstein Friesian (H); estando representado el resto de los rebaños, en orden decreciente de frecuencia, por los siguientes genotipos: Jersey y sus cruzas (Jc), Frisón Rojo (FR), cruzas de FR x razas rojas lecheras (FRxRRL) y Frisón Negro (FN): 16,7; 13,3; 6,7 y 6,7%, respectivamente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Distribución de los rebaños según su genotipo (GEN)

GEN	N	%
FN	2	6,7
FR	4	13,3
FRxRRL	2	6,7
H	17	56,7
Jc	5	16,7

Dentro del genotipo Jc, se incluyeron animales de raza Jersey, y sus cruzas con las razas H (JxH), FR (JxFR) y con diversas razas denominadas en conjunto razas rojas lecheras (RRL). Entre estas últimas, las más frecuentemente utilizadas eran la Holstein Rojo, Ayrshire y Rojo Sueca; las cuales también eran empleadas para cruzamientos con la raza FR.

En el cuadro 3 se observa que en todas las regiones hubo rebaños del genotipo H, mientras que sólo en la X Región se dispuso de rebaños correspondientes a las razas FR y FN, encontrándose este último genotipo sólo en rebaños de pequeños productores, con muy pocas vacas en ordeña. Tanto en las Regiones XIV como X, se contó con rebaños de los genotipos FRxRRL, y Jc (Jersey puro y sus cruzas).

Cuadro 3. Distribución de los rebaños según su genotipo (GEN) y ubicación geográfica (REG)

REG	GEN	N° Rebaños	% dentro de la Región
IV	H	1	100
V	H	1	100
RM	H	2	100
VIII	H	2	100
IX	H	2	100
XIV	FRxRRL	1	14,3
	H	3	42,9
	Jc	3	42,9
X	FN	2	13,3
	FR	4	26,7
	FRxRRL	1	6,7
	H	6	40,0
	Jc	2	13,3

**5.1.2. Descripción estadística del número de vacas en ordeña, número de vacas evaluadas, promedios de producción diaria de leche y de recuento de células somáticas del total de rebaños**

El número de vacas en ordeña varió ampliamente, desde un mínimo de 9, correspondiente a uno de los predios de pequeños productores que trabajan con el apoyo del Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), hasta un máximo de 750 vacas, pertenecientes a un predio de la VIII Región (Cuadro 4); lo cual refleja grandes diferencias entre predios en lo referente a tamaño de rebaño, además de la variabilidad existente en cuanto a sistemas productivos, ubicación regional, y razas o genotipos utilizados. El promedio de vacas en ordeña de los rebaños en estudio fue  $258,0 \pm 147,0$ ; determinándose un coeficiente de variación (CV) de 57,0% que indica una elevada variabilidad para el número de vacas en ordeña. El número de vacas evaluadas por rebaño alcanzó a  $85,1 \pm 25,9$ ; con un CV de 30,4%.

Cuadro 4. Caracterización de los rebaños según número de vacas en ordeña, número de vacas evaluadas, y promedios de producción diaria de leche (PDL) y recuento de células somáticas (RCS)

Variable	N	Media	D.E.	E.E.	C.V. (%)	Mín	Máx
Nº vacas en ordeña	30	258,0	147,0	26,8	57,0	9	750
Nº vacas evaluadas	30	85,1	25,9	4,7	30,4	3	160
PDL (kg)	29*	20,8	9,1	1,7	43,8	6,8	43,1
RCS (x 1.000/ml)	29*	352,8	150,0	27,9	42,5	89,0	715,0

\*No pudo obtenerse el Resumen Mensual del Rebaño del CLO correspondiente a un rebaño H de la XIV Región.

El promedio de producción diaria de leche por vaca (PDL), también mostró un amplio rango de variación entre rebaños (6,8 - 43,1 kg), alcanzando a  $20,8 \pm 9,1$  kg, con un CV de 43,8% (Cuadro 4). Los resultados presentados en el mismo cuadro, permiten apreciar las grandes diferencias existentes entre rebaños en cuanto a recuento de células somáticas (RCS), con un mínimo de 89.000 cél/ml y un máximo de 715.000 cél/ml, siendo el promedio aritmético  $352.800 \pm 150.000$  cél/ml. Dicho valor superaría al promedio de los planteles con control lechero oficial de COOPRINSEM, el cual alcanzó a 288.000 cél/ml durante el año 2009 (Quichiyao, 2010).

#### 5.1.2.1. Promedios de producción diaria de leche por vaca y de recuento de células somáticas de los rebaños, según ubicación geográfica y genotipo

La RM y la VIII Región poseen los rebaños con los mayores promedios de PDL, entre todas las regiones incluidas en el estudio: 37,1 y 36,6 kg, respectivamente. Le siguen las Regiones IV, IX y V, cuyos promedios respectivos alcanzaron a 26,7; 26,7 y 19,8 kg. Todos los rebaños evaluados en estas regiones estaban conformados por vacas de raza H, manejadas mayoritariamente en confinamiento permanente y con 3 ordeñas diarias, utilizándose en su alimentación niveles más elevados de concentrados y subproductos que en el resto de las regiones. Los promedios de PDL de los rebaños H de las Regiones XIV y X, manejados bajo una diversidad de sistemas productivos basados en el pastoreo y sometidos a 2 ordeñas diarias, fueron 19,3 y 22,4 kg; respectivamente. Los genotipos FN (9,5 kg) y FR (14,1 kg), estuvieron representados sólo en la X Región. Los promedios de PDL de los rebaños FRxRRL fueron más elevados en la XIV Región que en la X (18,1 y

13,3 kg, respectivamente), lo que también pudo verificarse en el caso de los rebaños Jc (17,8 y 8,7 kg, respectivamente), (Cuadro 5).

Las diferencias regionales en PDL son consistentes con las diferencias en producción por lactancia, informadas para distintas macrozonas y sistemas productivos lecheros de Chile (Lanuza, 2012), y con los diferentes niveles de producción por lactancia que exhiben en distintas regiones del país, los rebaños con CLO de COOPRINSEM (Quichiyao, 2010). La variabilidad de la PDL observada en las Regiones X y XIV, también ha sido descrita en otro estudio que incluyó un total de 42 rebaños ubicados en dichas regiones (Bello, 2011), lo que corroboraría la diversidad de sistemas productivos y genotipos presentes en las Regiones X y XIV (Anrique, 2005; Lanuza, 2012).

Cuadro 5. Promedios de producción diaria de leche por vaca (PDL) y de recuento de células somáticas (RCS) de los rebaños, según su ubicación geográfica (REG) y genotipo (GEN)

REG	GEN	N° Rebaños	PDL (kg)	PDL Regional (kg)	RCS (1.000/ml)	RCS Regional (1.000/ml)
IV	H	1	26,7	26,7	715,0	715,0
V	H	1	19,8	19,8	535,0	535,0
RM	H	2	37,1	37,1	528,5	528,5
VIII	H	2	36,6	36,6	303,0	303,0
IX	H	2	26,7	26,7	331,0	331,0
XIV	FRxRRL	1	18,1	18,4	474,0	384,0
	H	2*	19,3		393,0	
	Jc	3	17,8		285,0	
X	FN	2	9,5	13,6	357,0	333,7
	FR	4	14,1		305,5	
	FRxRRL	1	13,3		419,0	
	H	6	22,4		253,3	
	Jc	2	8,7		333,5	

\*No pudo obtenerse el Resumen Mensual del Rebaño del CLO correspondiente a un rebaño H de la XIV Región.

El cuadro 5 muestra una amplia variación entre regiones en lo referente al RCS de los rebaños. Los niveles más elevados correspondieron a las Regiones IV, V y Metropolitana, cuyos promedios superan las 500.000 cél/ml. Para las demás regiones (XIV, X, IX y VIII), los promedios de RCS de rebaño, en orden decreciente de magnitud, alcanzaron valores de 384.000; 333.700; 331.000 y 303.000 cél/ml, respectivamente.

Los niveles de RCS de estos 29 rebaños según su ubicación regional, coinciden en parte con los promedios de 373 rebaños con CLO de COOPRINSEM, correspondiente al año 2009 (Quichiyao, 2010), debido probablemente a que algunas regiones estuvieron representadas por un solo rebaño y al efecto que ejercen algunos recuentos celulares muy elevados sobre los promedios regionales de RCS que aparecen en el cuadro 5.

#### 5.1.2.2. Distribución del número de vacas en ordeña y número de vacas evaluadas, según su ubicación regional y sistema productivo

En el cuadro 6 se presenta para cada rebaño, región y sistema productivo, el número de vacas en ordeña y el número de vacas en que efectivamente se efectuó la evaluación morfológica de los pezones durante una ordeña completa, basado en los criterios propuestos por Mein *et al.* (2001), descritos previamente en el punto 4.2.

De 1.241 vacas en ordeña manejadas en confinamiento entre las Regiones IV y VIII, 443 fueron sometidas a evaluación morfológica de los pezones, lo que equivale al 35,7% del total de vacas en ordeña. El promedio de vacas en ordeña en estos planteles alcanzó aproximadamente a 248, evaluándose un promedio de 89 vacas. Se dispuso de un rebaño con un sistema mixto de producción, ubicado en la VIII Región, integrado por 750 vacas en ordeña, de las cuales 160 fueron sometidas a evaluación de los pezones (21,3%). De 5.748 vacas en ordeña manejadas en los sistemas basados en el pastoreo, ubicadas en las Regiones IX, XIV y X, 1.949 fueron sometidas a evaluación morfológica de los pezones, lo que corresponde al 33,9% de las vacas en ordeña. El promedio de vacas en ordeña de dichos rebaños fue aproximadamente 240, evaluándose un promedio de 81 vacas.

Para todos los sistemas productivos, exceptuando aquellos basados en el pastoreo, se efectuó la evaluación morfológica de los pezones a un promedio de más de 80 vacas, cumpliéndose con el criterio de incluir a lo menos 80 vacas en rebaños con hasta 400 vacas en ordeña, basado en las recomendaciones establecidas por Mein *et al.* (2001), para evaluar las condiciones de los pezones. En el caso de los rebaños manejados a pastoreo, el promedio de vacas evaluadas en la X Región (77), se vio disminuido por el efecto de 2

rebaños FN pertenecientes a pequeños productores, con 9 y 15 vacas en ordeña cada uno, y 1 rebaño Jc con sólo 72 vacas en ordeña.

Cuadro 6. Distribución de los rebaños (REB), vacas en ordeña (VO) y vacas evaluadas (VE), según su ubicación regional (REG) y sistema productivo (SP)

REB N°*	REG	SP	VO	VO		VE	VE			
				SP	REG		SP	REG		
1	X	Pastoreo	120	5.748	3.268	90	1.949	1.149		
14	X	Pastoreo	384			81				
15	X	Pastoreo	218			85				
16	X	Pastoreo	130			91				
17	X	Pastoreo	390			90				
19	X	Pastoreo	169			94				
2	X	Pastoreo	295			91				
20	X	Pastoreo	9			3				
21	X	Pastoreo	300			85				
22	X	Pastoreo	15			8				
4	X	Pastoreo	356			91				
5	X	Pastoreo	147			83				
6	X	Pastoreo	303			93				
7	X	Pastoreo	360			94				
9	X	Pastoreo	72			70				
10	XIV	Pastoreo	216			1.771			91	633
11	XIV	Pastoreo	120						89	
12	XIV	Pastoreo	318						83	
13	XIV	Pastoreo	191						91	
18	XIV	Pastoreo	400						92	
3	XIV	Pastoreo	316	100						
8	XIV	Pastoreo	210	87						
23	IX	Pastoreo	317	709	86	167				
24	IX	Pastoreo	392		81					
25	VIII	Mixto	750	750	1.020	160	160	252		
26	VIII	Confinamiento	270	1.241		92	443			
27	RM	Confinamiento	380		660	90		178		
28	RM	Confinamiento	280		88					
29	V	Confinamiento	140		140	84			84	
30	IV	Confinamiento	171		171	89		89		
Total			7.739	7.739	7.739	2.552	2.552	2.552		

\* Número de identificación de cada rebaño.

## 5.2. Descripción General de las Salas de Ordeña

En la totalidad de los predios se utilizaban salas de ordeña en espina de pescado, pudiendo obtenerse información sobre su capacidad en 29 de las 30 salas. Como se observa en el cuadro 7, su tamaño fluctuó desde 2 a 28 puestos por lado ( $11,2 \pm 5,9$ ); variabilidad que refleja las diferencias existentes en los tamaños de los rebaños en estudio (Cuadro 4). El número de puestos por lado en las salas línea simple fluctuó entre 2 y 28 ( $11,7 \pm 6,6$ ); mientras que en las salas línea doble el rango fue menor, oscilando entre 4 y 17 puestos por lado ( $10,1 \pm 3,8$ ).

Cuadro 7. Descripción estadística del número de puestos por lado de 29 salas de ordeña espina de pescado\* y por tipo de sala según el número de puestos por unidad de ordeña

Tipo de sala	N	%	Media	D.E.	E.E.	C.V. (%)	Mín	Máx
Dos puestos por unidad (línea simple)	21	72,4	11,7	6,6	1,5	56,9	2,0	28,0
Un puesto por unidad (línea doble)	8	27,6	10,1	3,8	1,4	37,9	4,0	17,0
Total salas	29	100,0	11,2	5,9	1,1	53,1	2,0	28,0

\* No pudo obtenerse información de una sala.

De acuerdo a la distribución de frecuencias del número de puestos por lado de las 29 salas, las mayormente difundidas fueron las de 10, 12 y 15 puestos por lado, cuyas frecuencias alcanzaron respectivamente a 13,8; 13,8 y 10,3%. A continuación, y con un 6,9% de frecuencia cada una, se ubicaron las salas de 4, 5, 6 y 8 puestos por lado. Los tamaños menos difundidos, con un 3,4% de frecuencia individual, fueron los de 2, 7, 9, 11, 13, 16, 17, 20, 24 y 28 puestos por lado.

El rango de puestos por lado y su distribución de frecuencias, muestran una situación muy distinta a la informada en algunos trabajos realizados en distintas zonas del país hasta comienzos de la década del 2000, en uno de los cuales se incluyó salas de ordeña espina de pescado línea simple y línea doble de 2 a 18 puestos por lado (Bezama, 1991), y en otro de 4 a 12 puestos por lado (Estévez y Marín, 1991), siendo las salas más comunes las de 6 puestos por lado, y las de 8 y 6 puestos por lado, respectivamente. En un estudio más reciente, donde se consideró sólo salas espina de pescado de tipo pendular (línea simple), el

número de puestos por lado fluctuó entre 4 y 20, predominando claramente las salas de 8 puestos por lado (Cuadra, 1999). Los resultados de otro estudio, donde no se especifica el tipo de sala ni su diseño según el número de puestos por unidad, indicarían que el tamaño más frecuente fue el de 8 puestos por lado, dentro de un rango de 2 a 36 puestos por lado (Jarpa, 2001).

La capacidad de las salas de los rebaños incluidos en el presente estudio, mostraría mayor similitud con la determinada en 42 salas espina de pescado de rebaños con control lechero, ubicados en las Regiones XIV y X, la cual varió desde 6 a 24 puestos por lado ( $13,0 \pm 5,1$ ), siendo las salas más frecuentes las de 8, 10 y 12 puestos por lado, representando cada una un 16,7; 16,7 y 14,3% del total. El tamaño de las salas línea simple fluctuó entre 6-24 puestos por lado ( $14,5 \pm 5,5$ ); mientras que el tamaño de las salas línea doble fue menor, variando entre 6-14 puestos por lado ( $9,9 \pm 2,3$ ), (Bello, 2011).

Al igual que los resultados obtenidos en el trabajo recién citado, el número de puestos por lado observado en el presente estudio, indica un claro aumento del tamaño de las salas de ordeña espina de pescado, en relación a los antecedentes bibliográficos nacionales. Ello reflejaría el aumento experimentado por el tamaño de los rebaños lecheros en Chile (Anrique, 2005), tendencia que se ha verificado en diversos países. Smith *et al.* (2005) señalan que debido al aumento en el promedio del tamaño de los rebaños lecheros, las vacas son ordeñadas en salas cada vez más grandes.

Los resultados presentados en el cuadro 7, indican que el tipo de sala más difundido (72,4%), fue la sala línea simple; correspondiendo la proporción restante (27,6%), a salas línea doble. Esta distribución se asemeja a la informada por Bello (2011), quien comprobó que del total de salas espina de pescado evaluadas, 28 correspondieron a salas línea simple y 14 a instalaciones línea doble, lo que representa un 66,7 y 33,3% de las salas, respectivamente. Ello denota un claro predominio de las denominadas comúnmente salas línea simple o pendulares (dos puestos por unidad), comparado con las designadas habitualmente líneas dobles (un puesto por unidad). En otros trabajos nacionales, también se ha comprobado una mayor difusión de las salas de ordeña en espina de pescado con dos

puestos por unidad, en relación a las con un puesto por unidad: 76,7 y 23,3 %, respectivamente (Estévez y Marín, 1991); 84,6 y 15,4%, respectivamente (Bezama, 1991). En el estudio de Cuadra (1999), realizado en salas espina de pescado de la provincia de Ñuble, todas eran de dos puestos por unidad, pero no se indica si la selección de salas fue al azar o se consideró como criterio de inclusión sólo dicho tipo de sala.

De acuerdo a Bello (2011), el predominio de las salas de dos puestos por unidad en el sur de Chile (Regiones XIV y X), revelaría una situación similar a la observada en países como Nueva Zelanda e Irlanda, y diferente a la existente en Estados Unidos, donde actualmente prevalecen las salas con un puesto por unidad (Kammel, 1995). En el presente estudio, el predominio de las salas de dos puestos por unidad en las mismas regiones estudiadas por Bello (2011), respecto a las de un puesto por unidad, resultaría aún más evidente: 81,8 y 18,2%, respectivamente.

### **5.3. Caracterización de los Equipos de Ordeña**

En la casi totalidad de los casos, pudo determinarse el nivel de vacío de los equipos de ordeña (28/30 equipos), y la frecuencia y relación de pulsación (27/30 equipos).

#### **5.3.1. Parámetros de funcionamiento**

##### **5.3.1.1. Nivel de vacío**

La mayoría de las salas línea doble (6), tenía equipos de ordeña con líneas de leche bajo el nivel de la ubre, variando sus niveles de vacío desde 37,3 a 48 kPa, alcanzando un promedio de 43,3 kPa. En una sala del mismo tipo, con un equipo de línea media, el vacío alcanzó un valor de 54 kPa; mientras que en otra sala línea doble, con un equipo de línea alta, el nivel de vacío fue 49,5 kPa.

Bello (2011), también verificó en las salas con un puesto por unidad (línea doble), un predominio notorio de equipos de ordeña con línea de leche baja (10 o 71,4%), respecto a

los diseños con línea de leche instaladas sobre el nivel de las vacas (4 o 28,6%). En general, esta última opción es poco utilizada, dado que involucraría mayores dificultades para un adecuado alineamiento de las unidades de ordeña y, como se observó en el presente estudio, requiere un mayor nivel de vacío, en comparación a los diseños de línea baja.

En las 21 salas línea simple, todas con equipos de ordeña línea media, el nivel de vacío varió entre 45,0 y 51,0 kPa, alcanzando un promedio de 48,6 kPa.

En general, los niveles de vacío determinados en cada uno de los equipos, se ajustaron a los rangos de valores recomendables: 42-46 kPa en equipos de línea baja y 47,3-50,8 kPa para equipos de línea media o alta (Spencer, 1997). Sólo se encontró un equipo de ordeña línea baja con un nivel de vacío menor al recomendable (37,3 kPa) y un equipo línea media con un nivel de vacío demasiado alto (54,0 kPa). Un nivel de vacío inferior al recomendable, constituye una causa de deslizamientos de pezoneras (Spencer y Rogers, 1991), mientras que un vacío excesivo favorecería el trepamiento de las pezoneras, provocando eventualmente una inflamación en o cerca de la base del pezón (Mein *et al.*, 2001); fenómenos que podrían presentarse más frecuentemente en pezones extremos en cuanto a longitud y diámetro.

#### 5.3.1.2. Frecuencia y relación de pulsación

Al medir el funcionamiento de los pulsadores, pudo comprobarse que la totalidad de los equipos de ordeña trabajaba con una frecuencia de pulsación de 60 ciclos por minuto. De éstos, un 51,9% tenía una relación de pulsación 65:35; mientras que un 33,3% presentaba una relación de pulsación 70:30 y sólo un 14,8% tenía una relación de pulsación 60:40. Los valores encontrados tanto para la frecuencia como la relación de pulsación, indicarían que la totalidad de los equipos funcionaba dentro de los rangos recomendables de relación y frecuencia de pulsación (O'Callaghan *et al.*, 1989)

### **5.3.2. Sistemas de retiro, sujeción y alineación de las unidades de ordeña**

De un total de 30 equipos de ordeña, la gran mayoría tenía un sistema de retiro de unidades automático (93,3%); observándose sólo dos equipos con sistema manual de retiro de las unidades de ordeña (6,7%), ambos propiedad de pequeños productores de la X Región. La situación observada en el presente estudio se asemeja a la descrita por Bello (2011), quien analizó rebaños con control lechero oficial y privado en las Regiones X y XIV, verificando que la totalidad de los equipos de ordeña contaba con retiradores automáticos de las unidades.

En relación a los sistemas de sujeción y alineación de las unidades, poco más de la mitad de los equipos de ordeña de los predios en estudio, no poseía algún sistema de sujeción y alineación de las unidades (56,7%), en tanto que en un 26,7% se utilizaban ganchos y sólo en un 16,7% brazos de servicio. Bello (2011), también comprobó que el uso de brazos de servicio se encuentra poco difundido (19,0%), los que permitirían una colocación más fácil de las unidades de ordeña y mantener un buen alineamiento de éstas durante la ordeña de cada vaca.

Las unidades mal alineadas pueden obstruir el flujo de leche hacia las pezoneras y aumentar la cantidad de leche que queda en la ubre al término del ordeño (NMC, s.f.). Las pezoneras deben colocarse y alinearse de modo que su peso se distribuya uniformemente, lo que además de disminuir los deslizamientos de pezoneras y mejorar la eficiencia del proceso de ordeña (Ruegg, 2010), reduciría el riesgo de transmisión de infecciones intramamarias asociado a los deslizamientos (Spencer, 1989; Baxter *et al.*, 1992). En consecuencia, en las salas de ordeña estudiadas sería recomendable un mayor grado de utilización de dispositivos que permitan una correcta alineación de las unidades, particularmente en las salas donde ello resulta más difícil (salas línea simple o pendulares) y en rebaños cuyas vacas presenten características extremas o anormales en cuanto a tamaño y forma de los pezones.

### **5.3.3. Modelos de pezoneras, copas de pezoneras y colectores**

En todos los equipos de ordeña de los predios en estudio, fue posible identificar tanto el modelo de la pezonera como el del colector de la unidad. En el caso de la copa de pezonera, pudo obtenerse información sólo para 28 equipos.

Se identificaron 11 modelos distintos de pezoneras de goma, siendo el modelo N° 2 el más comúnmente utilizado (53,3%), ubicándose a niveles de frecuencia más bajos los modelos N° 5 (13,4%) y 3 (6,8%). Cada uno de los demás modelos de pezonera, se utilizaba en un solo predio, lo que equivale a una frecuencia de uso de 3,3% para cada modelo.

Se constató la utilización de 5 modelos distintos de copas de pezonera, de los cuales el modelo N° 2 era el más común (64,3%), ocupando el segundo lugar en cuanto a frecuencia el modelo N° 3 (25,0%). Los modelos N° 1, 4 y 5 se encontraban muy poco difundidos, alcanzando cada uno una frecuencia de uso de 3,6%.

Con respecto a los colectores de las unidades de ordeña, de los 7 modelos utilizados, el más difundido fue el N° 6 (53,3%), seguido por el modelo N° 3 (30,1%), correspondiendo a cada uno de los demás modelos una frecuencia de uso de 3,3%.

La mayor parte de los modelos de pezoneras, copas de pezoneras y colectores eran de marca DeLaval. DeLaval S.A. determinará la compatibilidad de estos tres elementos en cada una de las salas evaluadas; así como los modelos de pezoneras más recomendables, para las características morfológicas de los pezones predominantes en la población de vacas en estudio y para aquellos rebaños que presentaran una frecuencia importante de vacas con pezones extremos en cuanto a tamaño (pezones muy largos y anchos, o pezones muy cortos y angostos). Los resultados obtenidos en este estudio, en relación a factores que afectan las características morfológicas de los pezones, podrían ser utilizados eventualmente en la selección de determinados modelos de pezoneras, considerando factores tales como genotipo y sistema productivo.

#### 5.4. Descripción de los Procedimientos de Ordeña

En 2 de las 30 salas (6,7%), no se observó la realización de ningún tipo de procedimiento de preparación de los pezones, correspondientes ambas a predios con un sistema productivo basado en el sistema neozelandés de producción de leche, donde habitualmente no se efectúa preparación de los pezones (Woolford, 2004). En el resto de los casos, se constató una gran diversidad de formas de preparación de pezones, consistiendo el esquema de preparación más difundido (46,7%), en la aplicación de despunte, predipping y secado de los pezones. Con un nivel de frecuencia menor (20,0%), se ubica un esquema de preparación que engloba todo lo anterior, más la incorporación del lavado de los pezones previo al predipping. En un 10,0% de los predios, se realizaba despunte, lavado y secado de pezones. Por último, con niveles de frecuencia menores al 10%, se observaron 4 esquemas de preparación, en los cuales se omite alguno de los procedimientos recomendados para una preparación apropiada de los pezones (Cuadro 8).

Cuadro 8. Distribución de las salas según los esquemas de preparación de pezones preordeña

Esquemas de preparación	N	%
Despunte y secado	1	3,3
Despunte y predipping	1	3,3
Despunte, predipping y secado	14	46,7
Despunte y lavado de pezones	2	6,7
Despunte, lavado de pezones y secado	3	10,0
Despunte, lavado de pezones, predipping y secado	6	20,0
Sólo predipping	1	3,3
Sin preparación	2	6,7
Total salas	30	100,0

En consecuencia, podría afirmarse que en la mayor parte de las salas (76,7%), se emplean esquemas de preparación adecuados, puesto que incluyen los procedimientos recomendados habitualmente para obtener leche de buena calidad higiénica, prevenir la transmisión de infecciones intramamarias y lograr una adecuada estimulación (lavado y/o desinfección preordeña, despunte y secado de pezones), (NMC, 1996; Philpot, 1999; Reneau, 2001; Ruegg, 2004). En el resto de los casos (23,3%), la preparación sería insatisfactoria, ya que

se omitía alguno de los pasos recién señalados (16,6%) o no se efectuaba preparación (6,7%).

Estos resultados difieren de los obtenidos en un trabajo nacional, donde los esquemas de preparación más difundidos fueron despunte y lavado (34,2%), y despunte, lavado y secado (31,7%); siendo el esquema que incluye predipping, despunte y secado el menos difundido (7,3%) (Jarpa, 2001). En cambio, concuerdan en cierta medida con los resultados de Bello (2011), quien comprobó que el esquema de preparación más utilizado fue la aplicación de predipping, seguido de despunte y secado de los pezones, pero con una frecuencia de 71,4%; mayor a la determinada en el presente estudio (46,7%). Sin embargo, el segundo esquema más difundido de preparación (20,0%), el cual incluía despunte, lavado de pezones, predipping y secado (Cuadro 8), fue el menos frecuentemente utilizado (2,4%) en los rebaños evaluados por Bello (2011).

Al analizar individualmente los procedimientos incluidos en la preparación de los pezones, se comprobó una amplia difusión del despunte o eliminación de los primeros chorros de leche, dado que se observó en el 90% de los casos (Cuadro 9); valor que indica un nivel de adopción más alto, en comparación a lo descrito en algunos estudios nacionales: 70% (Bezama, 1991) y 83% (Blanlot, 1999), pero algo menor en relación a lo informado por Bello (2011), quien observó la realización de dicho procedimiento en el 100% de las lecherías evaluadas.

Cuadro 9. Distribución de las salas de ordeña según los procedimientos incluidos en la preparación de los pezones y desinfección postordeña de pezones (postdipping)

Procedimiento	N	%
Despunte	27	90,0
Lavado de pezones	11	36,7
Predipping	22	73,3
Secado de pezones	24	80,0
Postdipping	27	90,0

La frecuencia de salas en que se realizaba lavado de los pezones (36,7%), resultaría un poco más elevada que la informada por Bello (2011), quien observó el lavado de pezones preordeña en el 23,8% de las salas. En cambio, sería menor en relación a lo descrito en

otros estudios nacionales: 80,5% (Salazar, 2001) y 80,9% (Durandal, 2003); lo cual, al igual que en el estudio de Bello (2011), reflejaría principalmente la omisión del lavado de pezones, debido al alto grado de incorporación del predipping en las rutinas de preparación utilizadas en las salas estudiadas.

Con respecto al predipping de pezones, éste constituye un procedimiento ampliamente difundido (73,3%), siendo su frecuencia de utilización similar al 73,8% determinado por Bello (2011). En cambio, supera notablemente los valores informados en otros estudios nacionales: 0% (Durandal, 2003) y 17,1% (Jarpa, 2001; Salazar, 2001). La elevada difusión del predipping, indicaría que la prevención de las mastitis ambientales es una consideración importante, no sólo en el diseño de los esquemas de preparación en los rebaños confinados de la zona central del país, sino también en los de la zona sur, cuyos sistemas productivos se basan en el pastoreo con un mínimo de confinamiento invernal, donde las infecciones intramamarias por patógenos ambientales tienen una menor importancia relativa que las ocasionadas por patógenos contagiosos (Agüero, 2002); puesto que el propósito principal del predipping es prevenir las infecciones por patógenos mamarios ambientales, pudiendo reducir aproximadamente en un 50% las tasas de nuevas infecciones intramamarias por este tipo de patógenos, contribuyendo además a la producción de leche de buena calidad bacteriológica (Galton *et al.*, 1984; Pankey *et al.*, 1987; Pankey, 1989; Reneau, 2001; Ruegg, 2004).

Como se observa en el cuadro 9, en la mayoría de las salas se realizaba el secado de los pezones con toallas individuales (80% del total), lo que en general indicaría un alto nivel de adopción de dicho procedimiento y más elevado que lo informado habitualmente en la literatura nacional: 35,5% (Cuadra, 1999); 36,2% (Durandal, 2003) y 60,0% (Jarpa, 2001). La frecuencia de secado de pezones determinada en el presente estudio, sería similar a las informadas por Salazar (2001) y Bello (2011): 75,7 y 83,3%, respectivamente. Con respecto al secado de los pezones, en aquellas salas en que debería realizarse dicho procedimiento, debido a que se efectuaba lavado de pezones y/o predipping (27 salas), el valor encontrado en el presente estudio alcanzó a 85,2%; frecuencia similar al 87,5%

determinado por Bello (2011), para los casos en que se practicaba lavado de pezones y/o predipping.

De lo expuesto (Cuadros 8 y 9), se desprende que en la mayoría de las salas se diagnostican rutinariamente las mastitis clínicas (90,0%), mediante el despunte y examen de los primeros chorros de leche; encontrándose ampliamente difundido (76,7%), el uso de procedimientos de preparación que tienen como propósito prevenir las neoinfecciones intramamarias, además de reducir la suciedad y carga bacteriana presente en la piel de los pezones (Philpot, 1999; Reneau, 2001; Ruegg, 2004); ya sea mediante lavado de los pezones (16,7%), predipping (53,3%) o incluyendo ambos procedimientos en la preparación (20,0%). El secado de los pezones, con posterioridad a su lavado y/o predipping, se constató en una proporción importante de dichos casos (85,2%); aunque este procedimiento debería ser de uso generalizado, dado que su efecto de reducción de la suciedad y carga bacteriana de los pezones, es más importante que los del solo lavado y/o predipping de los pezones (Galton *et al.*, 1986; Ruegg, 2004).

Además, la colocación de las unidades de ordeña en pezones húmedos, favorecería el ingreso de las bacterias a través del conducto del pezón y disminuiría la fricción entre la piel del pezón y la pezonera, predisponiendo a deslizamientos de las pezoneras (Ruegg, 1999), con el consiguiente incremento del riesgo de transmisión de infecciones intramamarias durante el ordeño (Spencer, 1989; Baxter *et al.*, 1992).

La desinfección postordeña de pezones (postdipping), es un aspecto fundamental en la prevención y control de la mastitis, para lo cual debe ser realizada con un producto de eficacia comprobada, posterior a cada ordeño durante toda la lactancia. De acuerdo a los resultados de ensayos de eficacia de exposición natural, se esperaría que la desinfección postordeña de pezones reduzca en un 50% o más las neoinfecciones por patógenos mamarios contagiosos (Pankey *et al.*, 1984; Bushnell, 1988; Philpot, 1999).

Como se observa en el cuadro 9, en relación a la frecuencia del postdipping de pezones, en el 90,0% de las salas de los predios en estudio se verificó la realización de dicho procedimiento. El nivel de difusión de la desinfección postordeña de pezones en los rebaños en estudio, se ubica dentro del rango de las frecuencias de uso del postdipping informadas en los estudios nacionales más recientes: 70% (Bezama, 1991), 84% (Cuadra, 1999), 85% (Blanlot, 1999), 90,25% (Jarpa, 2001), 90,2% (Salazar, 2001), 95,5% (Kruze, 2000), 100,0% (Saavedra, 2006; Bello, 2011).

## **5.5. Análisis de las Características Morfológicas de los Pezones en el Total de Rebaños Estudiados**

### **5.5.1. Análisis descriptivo de las variables cuantitativas**

En los cuadros 10 y 11 se presenta la descripción estadística de las variables morfológicas cuantitativas, considerando respectivamente el pezón y la vaca como unidad de estudio. En este análisis descriptivo no se incluyeron 170 vacas, por poseer uno o más cuartos secos.

Cuadro 10. Descripción estadística de las variables longitud de pezón (LPE), diámetro en la base del pezón (DPE B) y diámetro en la mitad del pezón (DPE 1/2), considerando el pezón como unidad de estudio (cm)

Variable	N	Media	D.E.	E.E.	C.V. (%)	Mín	Máx	Mediana
LPE	9.528	4,95	1,11	0,01	22,4	2,0	10,0	5,0
DPE B	9.528	2,91	0,51	0,01	17,5	1,8	5,5	2,9
DPE 1/2	9.528	2,57	0,35	0,003	13,6	1,0	5,5	2,5

Cuadro 11. Descripción estadística de las variables longitud de pezón (LPE), diámetro en la base del pezón (DPE B) y diámetro en la mitad del pezón (DPE 1/2), considerando la vaca como unidad de estudio (cm)

Variable	N	Media	D.E.	E.E.	C.V. (%)	Mín	Máx	Mediana
LPE	2.382	4,95	0,84	0,02	17,0	2,8	10,0	4,9
DPE B	2.382	2,91	0,42	0,01	14,4	1,9	5,1	2,9
DPE 1/2	2.382	2,57	0,31	0,01	12,1	1,6	4,3	2,6

#### 5.5.1.1. Longitud del pezón

Al utilizar los pezones como unidad de análisis, la LPE alcanzó un promedio de 4,95 cm para un total de 9.528 pezones en estudio, variando desde un mínimo de 2,0 cm hasta un máximo de 10,0 cm, determinándose un valor de 22,4% para el CV (Cuadro 10). El análisis por vaca para el total de la población en estudio, basado en los promedios de LPE de los pezones de cada vaca en estudio (Cuadro 11), no mostró cambios respecto al promedio obtenido al utilizar los pezones como unidad de estudio, evidenciándose en este último análisis una variabilidad levemente menor ( $CV = 17,0\%$ ). No se observaron mayores diferencias entre la media aritmética y la mediana de LPE, particularmente en el análisis que consideró al pezón como unidad de estudio, lo que indicaría que los datos de LPE se distribuyen normalmente. Ambos CV, se ubicarían dentro del rango de valores obtenidos en otros estudios, donde los CV para esta característica han fluctuado desde 13,2 y 13,6%, para los cuartos anteriores y posteriores, respectivamente (Seykora y McDaniel, 1986); 14,88% (Orban *et al.*, 2009); 16,0% (Seykora y McDaniel, 1985b); 16,6 y 14,5%, para los cuartos anteriores y posteriores, respectivamente (Rogers y Spencer, 1991); 19,5% (Palma, 2006), y 20,3 y 19,9%, para los cuartos anteriores y posteriores, respectivamente (Higgins *et al.*, 1980).

De acuerdo a la distribución de los datos de esta variable, los valores extremos de LPE se ubicarían por debajo de los 3 cm y sobre los 7 cm. Del total de vacas en estudio, sólo un 1% presentó una LPE  $< 3$  cm (pezones extremadamente cortos); en tanto que un 3% de las vacas mostró valores  $> 7$  cm (pezones extremadamente largos). El último límite de LPE es muy similar al valor propuesto por Britt y Farnsworth (1996), quienes califican como largos a los pezones con una LPE  $> 7,5$  cm. Considerando como cortos los pezones con una longitud  $< 4$  cm (Davis *et al.*, 2000), un 9% de las vacas tendría una LPE que quedaría incluida en dicha categoría. El análisis en relación al total de pezones, mostró resultados muy similares a los recién señalados, puesto que un 1 y 10% de los pezones tuvo una longitud  $< 3$  cm y  $< 4$  cm, respectivamente; en tanto que un 3% de los pezones presentó valores  $> 7$  cm.

El promedio obtenido para la LPE (4,95 cm), resultaría algo menor en comparación al promedio de 5,24 cm de LPE informado por Orban *et al.* (2009), para un rebaño de 268 vacas Jersey. En cambio, superaría levemente el promedio 4,8 cm obtenido por Neijenhuis *et al.* (2001), al estudiar 2.157 vacas distribuidas en 15 rebaños de Holanda, y sería mayor en comparación al promedio de 4,65 cm de LPE determinado por Binde y Bakke (1984), en una primera evaluación realizada en 138 vacas Rojo Noruego de 13 rebaños, asemejándose al promedio de LPE encontrado por los mismos autores en una segunda evaluación de dichos rebaños (4,91 cm).

Estudiando 504 animales de primera lactancia de raza Rojo Noruego, Bakken (1981), obtuvo un promedio de longitud de 4,99 y 4,33 cm para los pezones anteriores y posteriores, respectivamente; lo que resultaría en un promedio simple de 4,66 cm para los pezones anteriores y posteriores en conjunto, similar al promedio de 4,62 cm, correspondiente a los cuatro pezones de las vacas de primera lactancia evaluadas en el presente estudio. Sin embargo, este promedio de 4,62 cm de LPE en animales de primera lactancia, denotaría pezones de mayor longitud si se compara con los promedios de 4,5 y 4 cm, informados respectivamente por Rasmussen *et al.* (1998), para los pezones anteriores y posteriores de 115 vacas Holstein Danesas de primera lactancia.

Bakken (1981) determinó también las frecuencias de vacas para las categorías  $\leq 3,9$ , 4,0 - 4,9, 5,0 - 5,9 y  $\geq 6,0$  cm de LPE; las cuales alcanzaron a 10,5; 61,1; 26,8 y 1,6%, respectivamente. Los resultados obtenidos en el presente estudio, utilizando las mismas categorías de LPE en vacas de primer parto, indicarían frecuencias levemente mayores de pezones en las categorías extremas de LPE: 16,1; 52,7; 25,7 y 5,5%, respectivamente.

El promedio obtenido para la LPE (4,95 cm), se ubicaría dentro del rango de valores de LPE informados en los estudios citados en la revisión de Zwervaegher (2012), aunque las comparaciones con los valores determinados en los estudios incluidos en dicha revisión, se verían limitadas principalmente por corresponder mayoritariamente a promedios informados separadamente para cuartos anteriores y posteriores, según NOP, incluyendo varias razas distintas a las consideradas en el presente estudio. La descripción estadística de

la LPE según la posición de los cuartos (anteriores y posteriores), se debe a que en la mayoría de los trabajos sobre morfología de pezones, habitualmente se informan promedios más elevados de LPE para los pezones anteriores respecto a los posteriores, lo que se vería corroborado por los resultados del presente estudio, donde los promedios de LPE para los pezones anteriores y posteriores alcanzaron respectivamente 5,52 y 4,37 cm, para un total de 9.528 cuartos.

El promedio de LPE de los pezones anteriores (5,52 cm), se asemeja a los obtenidos en otros estudios con vacas Holstein. Analizando una base de datos de 5.934 cuartos, Seykora y McDaniel (1986), determinaron un promedio de 5,36 cm para la longitud de los pezones anteriores. Higgins *et al.* (1980), informan un promedio de LPE de 5,56 cm para los pezones anteriores, en un estudio que incluyó 402 vacas distribuidas en 18 rebaños. En el estudio transversal de Zwertvaegher *et al.* (2012), el promedio de LPE de los pezones anteriores alcanzó a 5,49 cm; valor obtenido a partir de un total de 683 vacas, en 15 rebaños.

Por otra parte, el promedio obtenido en este estudio para la LPE de los pezones anteriores (5,52 cm), resultaría menor comparado con los valores informados en otros trabajos. Rogers y Spencer (1991), estudiando 97 vacas Holstein, calcularon un promedio de LPE de 5,87 cm; mientras que el promedio determinado para 38 vacas Brown Swiss x German Braunvieh, alcanzaría a 6,65 cm (Weiss *et al.*, 2004). En el estudio longitudinal realizado por Zwertvaegher *et al.* (2012), que incluyó 250 vacas de 8 rebaños Holstein, con un total de 8.678 observaciones, el promedio de longitud de los pezones anteriores fue 5,86 cm.

En cambio, el promedio de la longitud de los pezones anteriores del presente estudio superaría los promedios informados por Binde y Bakke (1984), para vacas Rojo Noruego, los cuales alcanzaron a 4,85 y 5,18 cm, en una primera y segunda evaluación, respectivamente.

Con respecto a la LPE de los pezones posteriores, el promedio obtenido en el presente estudio (4,37 cm), resultaría similar al promedio de 4,44 cm encontrado en vacas Rojo

Noruego, en la primera evaluación realizada por Binde y Bakke (1984). También se asemejaría al promedio de 4,48 cm de longitud de los pezones posteriores informado para vacas Holstein por Higgins *et al.* (1980).

Sin embargo, comparado con los resultados de varias investigaciones efectuadas con vacas Holstein, el promedio obtenido en este estudio (4,37 cm), denotaría una menor longitud de los pezones posteriores: 4,52 cm (Seykora y McDaniel, 1986); 4,92 cm (Rogers y Spencer, 1991), y 4,72 y 5,09 cm, correspondientes respectivamente a los promedios de los estudios transversal y longitudinal de Zwertvaegher *et al.* (2012). Además, el promedio determinado en este estudio resultaría levemente menor en comparación a los 4,64 cm obtenidos en la segunda evaluación realizada por Binde y Bakke (1984), en vacas Rojo Noruego, y muy inferior respecto al promedio calculado para los pezones posteriores (5,65 cm), a partir de los resultados encontrados por Weiss *et al.* (2004), en 38 vacas Brown Swiss x German Braunvieh.

#### 5.5.1.2. Diámetro en la base del pezón

Al igual que para la LPE, el valor obtenido para el promedio del DPE B (2,91 cm), fue idéntico al utilizar el pezón y la vaca como unidad de estudio (Cuadros 10 y 11), determinándose también una menor variabilidad para esta característica al analizar los promedios de DPE B de los pezones de cada vaca (CV = 14,4%), con respecto a la observada al utilizar los pezones como unidad de análisis (CV = 17,5%). Los valores de la media aritmética y la mediana de DPE B fueron muy similares, lo que indicaría que los datos de DPE B se distribuyen normalmente.

Considerando esta distribución, sólo el 1% de la vacas habría presentado un DPE B extremadamente angosto (< 2 cm); mientras que un 4% de las vacas tendría un DPE B extremadamente ancho (> 3,8 cm). Dichas frecuencias no cambian demasiado al utilizar el pezón como unidad de análisis, ya que el 0,2 y 6% del total de pezones tuvo un DPE B < 2 cm y > 3,8 cm, respectivamente.

En el caso del DPE B, solo se encontró un estudio a partir del cual pudo calcularse el CV para esta característica (Higgins *et al.*, 1980), cuyos valores alcanzaron a 19,5% (cuartos anteriores) y 17,8% (cuartos posteriores).

En la mayoría de las investigaciones, se ha utilizado la zona media del pezón para medir su diámetro, existiendo muy pocos estudios que informen el diámetro del pezón en su base. En la revisión de literatura de Zwertvaegher (2012), se incluyen sólo dos trabajos en los cuales se determinaron promedios del diámetro en la base del pezón para los pezones anteriores y posteriores. Los promedios de DPE B obtenidos en el presente estudio según la posición de los pezones (anteriores y posteriores), alcanzaron a 3,02 y 2,79 cm, respectivamente. Ambos valores, indicarían un DPE B intermedio respecto a los promedios de los pezones anteriores y posteriores informados para dos razas, en uno de los estudios incluidos en la revisión bibliográfica de Zwertvaegher (2012): 2,67 y 2,59 cm (Rojo Sueco); 3,18 y 3,16 cm (Holstein Sueco). Higgins *et al.* (1980) estudiaron el diámetro proximal de los pezones de 402 vacas Holstein, en relación a su posición, obteniendo valores de 3,64 y 3,38 cm, para los pezones anteriores y posteriores, respectivamente; valores que indicarían pezones más anchos en su base, en comparación a los resultados obtenidos en el presente estudio.

#### 5.5.1.3. Diámetro en la mitad del pezón

Análogamente a lo observado para la LPE y el DPE B, el promedio del DPE 1/2 (2,57 cm), fue idéntico al utilizar el pezón y la vaca como unidad de estudio (Cuadros 10 y 11), determinándose también una variabilidad algo menor para esta característica al analizar los promedios de DPE 1/2 de los pezones de cada vaca (CV = 12,1%), con respecto a la observada al utilizar los pezones como unidad de análisis (CV = 13,6%). Análogamente a lo observado para la LPE y el DPE B, no hubo mayores diferencias entre los valores de la media aritmética y la mediana de DPE 1/2, lo que corroboraría que las variables de tamaño del pezón se distribuyen normalmente. Ello se vio ratificado por los resultados de la prueba de normalidad de los datos de cada una de estas variables (Prueba de Shapiro-Wilks modificada), confirmándose que la LPE, así como el DPE B y el DPE 1/2, se distribuyen normalmente.

En el caso del DPE 1/2, la frecuencia de vacas con pezones extremos sería aún más baja que la estimada para el DPE B. Sólo el 0,4% de las vacas presentaría un DPE 1/2 extremadamente angosto ( $< 1,8$  cm); mientras que un 1% tendría un DPE 1/2 extremadamente ancho ( $> 3,3$  cm). Las frecuencias de pezones extremos en cuanto a DPE 1/2, no varían mayormente al considerar el pezón como unidad de análisis, dado que en un 0,5 y 2% del total de pezones se determinaron valores  $< 1,8$  cm y  $> 3,3$  cm, respectivamente. Al igual que para el DPE B, no se encontraron estudios donde se señalen valores de referencia, para calificar el DPE 1/2 como excesivamente angosto o demasiado ancho.

Los valores determinados para los CV del DPE 1/2, se ubicarían hacia el extremo inferior del rango de CV obtenidos por otros autores para dicha característica: 12,5% (cuartos anteriores) y 13,0% (cuartos posteriores), (Seykora y McDaniel, 1986); 15,4% (cuartos anteriores) y 12,9% (cuartos posteriores), (Rogers y Spencer, 1991); 16,4% (cuartos anteriores) y 16,9% (cuartos posteriores), (Higgins *et al.*, 1980); 17,6% (Palma, 2006) y 19,0% (Seykora y McDaniel, 1985b).

El promedio obtenido para el DPE 1/2 (2,57 cm), estaría dentro del rango de valores de DPE 1/2 informados en los estudios citados en la revisión de Zwertvaegher (2012), aunque las comparaciones con los valores informados en los estudios incluidos en dicha revisión, se verían restringidas principalmente por corresponder mayoritariamente a promedios calculados separadamente para cuartos anteriores y posteriores, según NOP y para una mayor diversidad de razas que las evaluadas en este estudio. El promedio obtenido para el DPE 1/2 (2,57 cm), resultaría algo mayor en comparación a los resultados del único trabajo encontrado, donde se informa el promedio del DPE 1/2 de los cuatro pezones de 138 vacas Rojo Noruego, el cual alcanzó valores de 2,2 y 2,3 cm, en la primera y segunda evaluación realizadas en dicha investigación, respectivamente (Binde y Bakke, 1984).

Por otra parte, los resultados denotarían un mayor DPE 1/2, comparados con los valores informados por Bakken (1981), quien estudiando 501 animales de primera lactancia de raza Rojo Noruego, obtuvo promedios de 2,17 y 2,14 cm para el diámetro de la zona media alta

de los pezones anteriores y posteriores, respectivamente; valores que resultarían menores respecto al promedio de 2,46 cm, correspondiente al DPE 1/2 de los cuatro pezones de las vacas de primera lactancia evaluadas en el presente estudio.

En el presente estudio se obtuvo los siguientes promedios de DPE 1/2 para los pezones anteriores y posteriores del total de vacas: 2,62 y 2,52 cm, respectivamente.

El promedio de DPE 1/2 de los pezones anteriores (2,62 cm), podría considerarse similar a los promedios de diámetro determinados en la zona media de los pezones anteriores, en varios trabajos efectuados en vacas Holstein. Rogers y Spencer (1991), utilizando 97 vacas, calcularon un promedio de 2,5 cm para el DPE 1/2; mientras que Higgins *et al.* (1980), informan un promedio de 2,44 cm, en una investigación que incluyó 402 vacas distribuidas en 18 rebaños. Seykora y McDaniel (1986), analizando una base de datos de 5.934 cuartos mamarios, determinaron un promedio de 2,4 cm para el diámetro en la mitad de los pezones anteriores. Además, el promedio obtenido para el DPE 1/2 en el presente estudio se asemejaría al determinado para los pezones anteriores por Weiss *et al.* (2004), en 38 vacas Brown Swiss x German Braunvieh (2,7 cm); promedio que correspondería al diámetro de la zona media del pezón, dado que las mediciones fueron realizadas a 25 mm de la punta del pezón.

Por otra parte, el promedio de DPE 1/2 de los pezones anteriores (2,62 cm), superaría los promedios de 2,21 y 2,31 cm de DPE 1/2 determinados por Binde y Bakke (1984), correspondientes respectivamente a la primera y segunda evaluación realizadas por dichos autores en 138 vacas Rojo Noruego de 13 rebaños.

El promedio del DPE 1/2 de los pezones posteriores (2,52 cm), se asemejaría a los obtenidos en algunos estudios realizados con vacas Holstein: 2,48 cm (Higgins *et al.*, 1980) y 2,58 cm (Rogers y Spencer, 1991). En cambio, dicho promedio denotaría pezones más anchos en comparación al valor de 2,3 cm, obtenido para el promedio de diámetro en la zona media del pezón en vacas Holstein por Seykora y McDaniel (1985a), y en relación a los promedios de 2,20 y 2,29 cm, determinados respectivamente en la primera y segunda

evaluación realizada por Binde y Bakke (1984), en vacas Rojo Noruego. En contraposición, el promedio obtenido para el DPE 1/2 de los pezones posteriores, resultaría menor en comparación al promedio de 2,8 cm, encontrado en vacas Brown Swiss x German Braunvieh por Weiss *et al.* (2004), efectuando las mediciones a 25 mm de la punta del pezón.

### **5.5.2. Relaciones entre las variables cuantitativas**

Los análisis de correlación, realizados con un total de 9.528 pezones, mostraron relaciones altamente significativas entre las variables morfológicas cuantitativas estudiadas. El valor de correlación más elevado, correspondió a la relación entre DPE B y DPE 1/2 ( $r = 0,77$ ;  $P < 0,0001$ ). La LPE se relacionó de manera algo más evidente con el DPE B que con el DPE 1/2:  $r = 0,60$  ( $P < 0,0001$ ) y  $r = 0,51$  ( $P < 0,0001$ ), respectivamente.

Se obtuvieron coeficientes de correlación muy similares y con el mismo nivel de significancia ( $P < 0,0001$ ), al estudiar estas relaciones según la posición de los pezones. En el caso de los pezones anteriores, se determinaron los siguientes coeficientes de correlación: 0,75 (DPE B y DPE 1/2); 0,59 (LPE y DPE B) y 0,51 (LPE y DPE 1/2). Los valores correspondientes a los pezones posteriores fueron 0,79 (DPE B y DPE 1/2); 0,56 (LPE y DPE B) y 0,52 (LPE y DPE 1/2).

Los análisis de correlación, efectuados con los promedios de LPE, DPE B y DPE 1/2 por vaca ( $N = 2.382$ ), también mostraron relaciones altamente significativas y con el mismo nivel de significancia, obteniéndose valores algo más elevados para los coeficientes de correlación que en los análisis en base a los pezones. El valor de correlación más elevado, correspondió a la relación entre DPE B y DPE 1/2 ( $r = 0,82$ ;  $P < 0,0001$ ). La LPE se relacionó de manera algo más evidente con el DPE B que con el DPE 1/2:  $r = 0,64$  ( $P < 0,0001$ ) y  $r = 0,57$  ( $P < 0,0001$ ), respectivamente.

Análogamente a lo observado en el presente estudio, Bakken (1981) encontró una correlación positiva entre la longitud y el diámetro del pezón ( $r = 0,23$ ;  $P < 0,001$ ). Dichos valores fueron determinados utilizando la vaca como unidad de estudio (504 vacas Rojo Noruego de primera lactancia), efectuándose las mediciones de diámetro en la parte media alta del pezón. Los resultados del presente estudio serían compatibles con los obtenidos por Seykora y McDaniel (1986), quienes evaluaron diversas características de la ubre y los pezones en seis rebaños de vacas Holstein, concluyendo que la longitud y el diámetro medido en la mitad del pezón se encuentran correlacionados estrechamente, basados en los valores de los coeficientes de correlación genética, determinados tanto en los pezones anteriores como en los posteriores.

En la literatura consultada, no se encontraron antecedentes referentes a correlaciones entre diámetros del pezón medidos en distintas zonas.

### **5.5.3. Análisis descriptivo de las variables cualitativas**

A continuación se presentan y discuten los resultados obtenidos para las variables morfológicas forma del pezón (FPE), forma de la punta del pezón (FPU) y dirección de los pezones anteriores (DPEA), en términos de frecuencias relativas al total de pezones y vacas en estudio; excluyéndose también de estos análisis aquellas vacas que presentaron uno o más cuartos secos.

#### **5.5.3.1. Forma del pezón**

Como se observa en el cuadro 12, el análisis de la FPE para el total de pezones en estudio, mostró un claro predominio de la forma cilíndrica (63,0%), ubicándose en segundo lugar de frecuencia los pezones en forma de pera (28,1%) y en último lugar, con un valor de frecuencia bajo, los pezones cónicos (8,9%).

Cuadro 12. Frecuencias de formas de pezón (FPE), considerando el pezón como unidad de estudio

FPE	N	%
Cilindro	6.001	63,0
Cono	848	8,9
Pera	2.679	28,1
Total	9.528	100,0

Al analizar los resultados por vaca sobre el total de la población en estudio, se observó el mismo ordenamiento para las categorías de FPE: 55,6% (cilindro); 15,4% (pera) y 4,9% (cono); encontrándose un 3,0; 19,0 y 2,1% de vacas que presentaban las siguientes combinaciones de formas de pezones: cilindro/cono, cilindro/pera y cono/pera, respectivamente. Estas combinaciones se consideraron como FPE No Clasificable (NC) y alcanzaron una frecuencia de 24,1%; valor que sería inferior al 41,66% de vacas con al menos uno de los cuatro pezones con formas distintas al resto, informado por Durán y Hebel (1974) para un rebaño de la zona central de Chile. Al excluir el 24,1% de vacas con combinaciones de formas de pezones dentro de la misma ubre, las frecuencias de vacas con todos sus pezones de forma cilíndrica, pera y/o cono, alcanzaron respectivamente a 73,2; 20,4 y 6,4% (Cuadro 13).

Cuadro 13. Frecuencias de formas de pezón (FPE), considerando la vaca como unidad de estudio

FPE	N	%	%*
Cilindro	1.324	55,6	73,2
Cono	116	4,9	6,4
Pera	368	15,4	20,4
No Clasificable (NC)	574	24,1	-
Total	2.382	100,0	100,0

\*Frecuencias excluyendo las FPE NC.

Los resultados obtenidos para la FPE utilizando el pezón como unidad de análisis, denotan un claro predominio de los pezones cilíndricos respecto a los pezones en forma de pera y de éstos en comparación a los pezones de forma cónica; resultados que no coincidirían con los obtenidos por Higgins *et al.* (1980), los cuales indican que las formas de pezones predominantes fueron la de embudo o cono y la cilíndrica. Dichos autores estudiaron 402 vacas Holstein, obteniendo las siguientes frecuencias para las formas de pezones en

embudo (cono), cilindro y pera, respectivamente: 52, 36 y 12% (pezones anteriores), y 53, 33 y 14% (pezones posteriores). En el presente estudio, la descripción de frecuencias de la FPE según la posición de los pezones (anteriores y posteriores), arrojó respectivamente los siguientes valores para los pezones en forma de cilindro, pera y cono (embudo): 68,3; 21,6 y 10,2% (pezones anteriores), y 57,7; 34,7 y 7,6% (pezones posteriores).

Estos últimos resultados podrían indicar una diferencia en la FPE entre los pezones anteriores y posteriores, dado que los pezones posteriores tendieron a mostrar una menor frecuencia de pezones en forma de cilindro, pero una mayor frecuencia de pezones en forma de pera, respecto a los pezones anteriores; tendencia que fue corroborada estadísticamente al analizar los factores que afectan la FPE (Cuadro 57). Ello no coincidiría con los resultados ya citados de Higgins *et al.* (1980), los cuales no muestran mayores diferencias en la FPE entre pezones anteriores y posteriores. Tampoco concordaría con la situación descrita por Riera-Nieves *et al.* (2006), quienes concluyen que en vacas de las razas Carora, Holstein y Jersey, la FPE no fue influenciada por la posición de los pezones.

Los resultados obtenidos en el análisis por vaca (Cuadro 13), para un total de 2.382 observaciones, excluyendo las vacas con combinaciones de distintas formas de pezones (FPE NC), denotan un claro predominio de la forma cilíndrica (73,2%), ubicándose en segundo lugar la forma de pera (20,4%) y una baja frecuencia de pezones con forma de cono (6,4%). Dichos resultados no coincidirían con los resultados de Riera-Nieves *et al.* (2006), obtenidos al evaluar la FPE en vacas de tres razas (Carora, Holstein y Jersey), los cuales indican que en todas las razas el embudo (cono) fue la forma más frecuente, seguida por la forma cilíndrica, ubicándose en último lugar la forma de botella (pera). Tampoco coincidirían con los encontrados por otros autores en vacas de raza Rojo Noruego, particularmente en lo referente a las frecuencias de pezones en forma de pera y cono. Binde y Bakke (1984), analizaron 138 vacas, obteniendo las siguientes frecuencias de vacas para las categorías de FPE cilindro, cono y pera: 56,9; 42,1 y 1%; respectivamente. Por su parte, Bakken (1981), estudiando 504 animales de primera lactancia de la misma raza, determinó un 58,9% de vacas con pezones en forma de semiembudo y un 39,5% con forma cilíndrica, observando un 1,6% de vacas con pezones con marcada forma de embudo y ninguna con

forma de pera o semipera. En cambio, las frecuencias correspondientes de FPE, respecto al total de vacas de primera lactancia evaluadas en el presente estudio, para las formas de cono, cilindro y pera, alcanzaron respectivamente a 5,7; 75,3 y 18,9%.

Los resultados del presente estudio tampoco coincidirían con los de Rathore (1976), quien evaluó 1.209 vacas Holstein, analizando sólo dos formas de pezones (embudo y cilíndrica), determinando frecuencias de 51 y 49% para ambas categorías, respectivamente. Tales resultados, indicarían una relación de aproximadamente 1:1 entre vacas con FPE en forma de embudo (cono) y cilíndrica; mientras que en el presente estudio las frecuencias de ambas formas de pezones, denotan un predominio ostensible de la forma cilíndrica sobre la cónica: 73,2 y 6,4%, respectivamente.

Por otra parte, los resultados obtenidos para la FPE concordarían parcialmente con los del estudio de Hickman (1964), quien analizó 220 vacas Ayrshire y Holstein, de primera y segunda lactancia, comprobando también que la forma predominante fue la cilíndrica, pero con un menor predominio respecto a la forma de cono en comparación a lo observado en el presente estudio, estando escasamente representada la forma de botella (pera).

#### 5.5.3.2. Forma de la punta del pezón

La FPU se dividió en tres categorías: plana, redondeada y puntiaguda. Al analizar la FPU según el total de pezones en estudio, se obtuvieron las siguientes frecuencias para las categorías antes mencionadas: 40,7; 32,2 y 12,1%; respectivamente. Adicionalmente, un 15% del total de pezones evaluados presentó un puntaje  $\geq 2$  para la condición de la punta del pezón (hiperqueratosis). Excluyendo estos pezones, cuya FPU fue designada como No Clasificable (NC), las frecuencias de FPU plana, redondeada y puntiaguda, alcanzaron respectivamente a 47,9; 37,8 y 14,3% (Cuadro 14).

Cuadro 14. Frecuencias de formas de punta de pezón (FPU), considerando el pezón como unidad de estudio

FPU	N	%	%*
Plana	3.874	40,7	47,9
Puntiaguda	1.156	12,1	14,3
Redondeada	3.065	32,2	37,8
No Clasificable (NC)	1.429	15,0	-
Total	9.524	100,0	100,0

\* Frecuencias excluyendo las FPU NC.

A diferencia de lo observado para la FPE, la FPU no parece estar claramente relacionada con la posición de los pezones, dado que no habrían grandes diferencias en las frecuencias de FPU plana, puntiaguda, redondeada y NC, entre pezones anteriores y posteriores: 40,1; 12,4; 31,0 y 16,5%; respectivamente (pezones anteriores), y 41,2; 11,9; 33,4 y 13,5%; respectivamente (pezones posteriores). Sin embargo, mediante la prueba de Chi-cuadrado se determinó una asociación significativa entre FPU y POP (Cuadro 58).

Al analizar los resultados de la FPU, utilizando como base el total de la población de vacas en estudio (Cuadro 15), se evidenció el mismo ordenamiento de frecuencias observado al analizar dicha variable utilizando el pezón como unidad de estudio, obteniéndose los siguientes valores para las categorías de FPU plana, redondeada y puntiaguda: 27,7; 21,2 y 8,4%, respectivamente. Una proporción elevada de las vacas (42,6%), no pudo ser incluida dentro de estas tres categorías, por presentar combinaciones de FPU en sus pezones que no permitían clasificarlas en alguna de las categorías evaluadas y/o presentar algún pezón con un puntaje de hiperqueratosis  $\geq 2$ . En el estudio de Durán y Hebel (1974), se encontró que un 46,66% de las vacas presentaron al menos una de las cuatro puntas de pezón distinta al resto. Excluyendo estos casos, las frecuencias de vacas con FPU plana, redondeada y puntiaguda, alcanzaron respectivamente a 48,4; 36,9 y 14,7%. Estas frecuencias son muy similares a las calculadas en el análisis por pezón para las mismas categorías de FPU.

Cuadro 15. Frecuencias de formas de punta de pezón (FPU), considerando la vaca como unidad de estudio

FPU	N	%	%*
Plana	661	27,7	48,4
Puntiaguda	201	8,4	14,7
Redondeada	505	21,2	36,9
No Clasificable (NC)	1.015	42,6	-
Total	2.382	100,0	100,0

\* Frecuencias excluyendo las FPU NC.

Los resultados del presente estudio difieren de los informados en otros trabajos, donde el primer lugar en cuanto a frecuencia de FPU correspondió a la forma de punta redondeada, seguida por la forma puntiaguda, ubicándose en último lugar la forma de punta plana. Este ordenamiento de frecuencias se observa en los resultados obtenidos por Riera-Nieves *et al.* (2006), al evaluar la FPU en vacas de las razas Carora, Holstein y Jersey; quedando también reflejado en los resultados de Neijenhuis *et al.* (2000), quienes en un estudio donde no se menciona las razas de las vacas evaluadas, informan las siguientes frecuencias de pezones para las formas de punta redondeada, puntiaguda, plana e invertida: 43, 31, 13 y 13%, respectivamente. Los resultados también mostrarían una situación diferente, en comparación a la descrita por Binde y Bakke (1984), quienes evaluaron 525 pezones de vacas Rojo Noruego, clasificando la FPU en redondeada (43,8%), plana (28,1%) y puntiaguda (28,1%). En otros estudios, también se ha comprobado que la forma más común de la punta del pezón es la redondeada (Chrystal *et al.*, 1999; Neijenhuis, *et al.*, 2001).

Por otra parte, los resultados obtenidos en el presente estudio mostrarían cierta similitud con los informados en el trabajo de Bakken (1981), aunque dichos autores utilizaron más categorías de FPU y los valores de frecuencias de FPU son distintos. En el trabajo recién citado se estudiaron 504 animales de primera lactancia de raza Rojo Noruego, clasificándose la FPU en semiplana, plana, redondeada, semipuntiaguda y puntiaguda. Las frecuencias de vacas para estas categorías de FPU, alcanzaron respectivamente a 37,6; 5,0; 45,1; 11,5 y 0,8%. Al reagrupar estas categorías en las tres clases de FPU utilizadas en el presente estudio, se obtendrían las siguientes frecuencias de vacas para las FPU plana, redondeada y puntiaguda: 42,6; 45,1 y 12,3%, respectivamente. Sin considerar las vacas de

primera lactancia que en el presente estudio no pudieron ser clasificadas dentro de alguna de estas categorías, las frecuencias de vacas correspondientes a las FPU plana, redondeada y puntiaguda, alcanzaron respectivamente 47,2; 32,0 y 20,8%.

De la discusión de los resultados, se desprende que existen grandes variaciones entre estudios en lo referente a frecuencias de formas de punta de pezón, atribuibles en parte al carácter subjetivo de su evaluación, lo que limitaría la categorización de la FPU. La evaluación de esta característica también se vería afectada por la diversidad de categorías utilizadas en su clasificación, las cuales varían entre tres a ocho, siendo cinco las más utilizadas: puntiaguda, redondeada, plana, disco o en forma de plato, e invertida (Seykora y McDaniel, 1985a). La utilización de categorías intermedias de FPU, como las descritas en el estudio de Bakken (1981), también contribuye a dificultar la comparación entre los resultados de las investigaciones.

Por otra parte, la evaluación de la FPU se vería limitada por la presencia de anillos alrededor del orificio del pezón. Así, las puntas de pezón planas, con un anillo liso alrededor del orificio, pueden ser confundidas con puntas de pezones en forma de disco (Seykora y McDaniel, 1985a). Como se observa en el cuadro 14, un 15% de los pezones presentó un puntaje  $\geq 2$  de hiperqueratosis (punta del pezón con anillo liso, anillo rugoso o anillo muy rugoso), en los cuales no pudo realizarse una clasificación adecuada de la FPU dentro de algunas de las categorías en estudio.

Finalmente, cabe destacar que si bien la literatura revisada muestra variaciones importantes en las frecuencias de FPU, los estudios citados previamente indicarían que la forma redondeada es la más común. Ello contrasta con los resultados del presente estudio, donde la categoría más frecuente de FPU fue la forma plana, ocupando el segundo lugar en cuanto a frecuencia la forma redondeada. En el cuadro 60 se observa que con excepción de las vacas FN y H, los animales de los demás genotipos mostraron un claro predominio de la FPU plana respecto a la redondeada.

### 5.5.3.3. Dirección de los pezones anteriores

La evaluación de la DPEA consideró las categorías abajo, afuera y adentro; obteniéndose las siguientes frecuencias al analizar esta variable según el total de pezones en estudio: 66,1; 21,2 y 12,7%, respectivamente (Cuadro 16).

Cuadro 16. Frecuencias de dirección de los pezones anteriores (DPEA), considerando el pezón como unidad de estudio

DPEA	N	%
Abajo	3.147	66,1
Adentro	605	12,7
Afuera	1.011	21,2
Total	4.763	100,0

El análisis de la DPEA para el total de la población de vacas en estudio (Cuadro 17), mostró el mismo ordenamiento de frecuencias, dado que un 57,5; 15,4 y 9,3% de las vacas se clasificaron respectivamente dentro de las categorías de DPEA hacia abajo, afuera y adentro. Un 17,8% de las vacas no pudo clasificarse dentro de estas tres categorías, ya que sus dos pezones anteriores presentaban distintas direcciones. Al eliminar estos animales de los análisis, las frecuencias correspondientes a las categorías antes mencionadas de DPEA, alcanzaron respectivamente a 70,0; 18,7 y 11,3%.

Cuadro 17. Frecuencias de dirección de los pezones anteriores (DPEA), considerando la vaca como unidad de estudio

DPEA	N	%	%*
Abajo	1.370	57,5	70,0
Adentro	222	9,3	11,3
Afuera	366	15,4	18,7
No Clasificable (NC)	424	17,8	-
Total	2.382	100,0	100,0

\* Frecuencias excluyendo las DPEA NC.

En la literatura consultada sólo se encontró una investigación donde se entregan valores de frecuencias para la DPEA (Higgins *et al.*, 1980). Dichos autores evaluaron la dirección de los pezones anteriores de 402 vacas Holstein, obteniendo como resultado una frecuencia de 73% para la DPEA hacia abajo y una de 27% para la DPEA no perpendicular; resultados

que mostrarían una situación similar a la observada en el presente estudio, donde las frecuencias correspondientes a dichas categorías de DPEA alcanzaron respectivamente a 70 y 30% (11,3% hacia adentro y 18,7% hacia afuera).

## **5.6. Factores que Afectan las Características Morfológicas Cuantitativas**

Para estudiar los efectos de algunos factores sobre las características morfológicas cuantitativas, se utilizó en primer lugar el pezón como unidad de análisis (Modelo 1), incluyendo los factores rebaño (REB), genotipo (GEN), posición de los pezones (POP), forma del pezón (FPE) y forma de la punta del pezón (FPU). El mismo tipo de análisis se realizó utilizando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2), considerando los siguientes factores: región (REG), sistema productivo (SP), GEN, número ordinal de parto (NOP), días en leche (DEL), FPE, FPU y dirección de los pezones anteriores (DPEA).

### **5.6.1. Factores que afectan la longitud del pezón**

El modelo utilizado para analizar los factores que afectan la longitud del pezón, utilizando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1), resultó altamente significativo ( $P < 0,0001$ ), alcanzando un  $r^2$  de 0,40. Todos los factores incluidos en dicho modelo mostraron un efecto significativo sobre esta variable, observándose para todos el mismo nivel de significancia ( $P < 0,0001$ ).

El modelo de análisis de la LPE que consideró la vaca como unidad de estudio (Modelo 2), también fue significativo, pero se obtuvo un coeficiente de determinación más bajo, en comparación al modelo anterior:  $P < 0,0001$ ;  $r^2 = 0,19$ ; respectivamente. Con excepción de la DPEA, todos los factores incluidos en este modelo afectaron la LPE, exhibiendo el mismo nivel de significancia ( $P < 0,0001$ ); salvo el factor REG cuyo nivel de significancia fue menor ( $P = 0,0067$ ).

#### 5.6.1.1. Rebaño

Este factor fue incluido solo en el modelo de análisis que consideró el pezón como unidad de estudio (Modelo 1), donde mostró un efecto significativo sobre la LPE ( $P < 0,0001$ ). El factor rebaño representaría un 15% de la variación de la LPE explicada por dicho modelo.

Este resultado sería consistente con los resultados obtenidos en los estudios longitudinal y transversal realizados por Zwervaegher *et al.* (2012), los cuales indican que la mayor parte de la variación en la longitud del pezón reside en la vaca o en el nivel dentro de la vaca (pezones), y no a nivel de rebaño. Al respecto, los mismos autores señalan que la contribución del factor rebaño a la variación en las dimensiones de los pezones, podría ser más evidente si los rebaños estuviesen integrados por vacas de distintas razas.

#### 5.6.1.2. Genotipo

Los dos modelos de análisis mostraron un efecto significativo del GEN sobre la LPE, exhibiendo el mismo nivel de significancia ( $P < 0,0001$ ). Sin embargo, dicho factor explicaría una baja proporción de la variación de esta característica morfológica, dado que representaría sólo el 3 y 7% de la variación de la LPE explicada por los Modelos 1 y 2, respectivamente.

El primer tipo de análisis, mostró el siguiente ordenamiento de los GEN para los promedios de LPE (cm), de menor a mayor: Jc (4,91a), H (5,14b), FR (5,26c), FRxRRL (5,37cd) y FN (5,43d); observándose diferencias significativas entre los tres primeros, pero no entre los genotipos FR y FRxRRL, correspondiendo el valor más elevado a la raza FN, la cual se diferenció significativamente de las tres primeras razas, pero no respecto al genotipo FRxRRL (Cuadro 18).

Cuadro 18. Longitud del pezón (cm) según el genotipo de las vacas (GEN), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1)

GEN	N	Media ± E.E.
Jersey y Cruzas con Jersey (Jc)	1.574	4,91 ± 0,02a
Holstein Friesian (H)	5.978	5,14 ± 0,02b
Frisón Rojo (FR)	1.224	5,26 ± 0,03c
Frisón Rojo x Razas Rojas Lecheras (FRxRRL)	704	5,37 ± 0,05cd
Frisón Negro (FN)	44	5,43 ± 0,13d

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

Al analizar los resultados del Modelo 2, se obtuvieron los siguientes promedios de LPE (cm), para los genotipos Jc, FR, H, FRxRRL y FN: 4,75a; 4,93ab; 4,98abc; 5,05bc y 5,20c; respectivamente (Cuadro 19).

Cuadro 19. Longitud del pezón (cm) según el genotipo de las vacas (GEN), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

GEN	N	Media ± E.E.
Jersey y Cruzas con Jersey (Jc)	380	4,75 ± 0,04a
Frisón Rojo (FR)	141	4,93 ± 0,06ab
Holstein Friesian (H)	1.361	4,98 ± 0,02abc
Frisón Rojo x Razas Rojas Lecheras (FRxRRL)	108	5,05 ± 0,07bc
Frisón Negro (FN)	8	5,20 ± 0,26c

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

Comparados con el Modelo 1, los resultados del Modelo 2 muestran un ordenamiento similar de los genotipos en cuanto a LPE, pero los promedios determinados para esta variable fueron algo más bajos debido probablemente a que la unidad de estudio (vaca), representa el promedio de LPE de los cuatro pezones de cada animal, y que el menor número de observaciones en el Modelo 2 en comparación a las disponibles en el Modelo 1, se vio reducido adicionalmente porque 384 vacas no tenían la totalidad de los datos para cada una de las variables incluidas en el modelo estadístico. Ello contribuiría también a explicar que las diferencias de LPE entre genotipos, hayan sido menos evidentes que las detectadas al analizar esta variable mediante el Modelo 1. De hecho, el Modelo 2 detectó sólo diferencias en la LPE de las vacas Jc respecto a las vacas FRxRRL y FN, y de las vacas FR en comparación a las FN.

Al igual que en el presente estudio, en un trabajo realizado en Venezuela, donde se utilizó el pezón como unidad de análisis, Riera-Nieves *et al.* (2006), comprobaron un efecto significativo del factor GEN sobre la LPE ( $P < 0,0002$ ), determinando los siguientes promedios de LPE para vacas de las razas Carora, Holstein y Jersey: 5,9; 5,4 y 5,3 cm; respectivamente. En dicho trabajo, no se efectuaron comparaciones estadísticas entre los tres genotipos, pudiendo señalarse que la diferencia entre los promedios de LPE de las vacas Holstein y Jersey fue pequeña (0,1 cm); mientras que en el presente estudio, los resultados obtenidos mediante el Modelo 1 muestran una diferencia más evidente entre los genotipos H y Jc (0,23 cm), detectándose además diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de LPE de los pezones de las vacas H y Jc (5,14 y 4,91 cm, respectivamente).

Por otra parte, los resultados del Modelo 2 coincidirían con los de Heins *et al.* (2008), quienes compararon 73 vacas Holstein puras y 76 vacas Jersey x Holstein, de primera lactancia, no encontrando diferencias entre la longitud de los pezones anteriores, cuyos promedios alcanzaron a 4,5 cm en ambos genotipos. Al calcular la LPE de los animales de primera lactancia evaluados en el presente estudio, se obtuvo un promedio algo mayor para el GEN H (4,63 cm) respecto al Jc (4,49 cm), pero dicha diferencia no alcanzó a ser estadísticamente significativa.

#### 5.6.1.3. Posición de los pezones

Entre los factores analizados, la posición de los pezones (POP), es el que mayormente influye en la LPE, puesto que contribuiría en un 68% a la variación de la característica explicada por el Modelo 1. Este resultado sería consistente con lo observado en el estudio transversal de Zwertvaegher *et al.* (2012), donde también se verificó que la mayor parte de la variación en la longitud del pezón estuvo determinada por el cuarto mamario (posición de los pezones); contribuyendo en menor medida los factores propios de la vaca y del rebaño.

Los promedios de LPE (cm) de los pezones anteriores y posteriores fueron 5,73b y 4,56a; respectivamente (Cuadro 20). Además de significativa ( $P < 0,0001$ ), la diferencia entre ambos promedios alcanzó una magnitud importante (1,17 cm); resultado que en general es consistente con lo establecido en la literatura (Higgins *et al.*, 1980; Seykora y McDaniel, 1986; Weiss *et al.*, 2004; Riera-Nieves *et al.*, 2006; Zwertvaegher *et al.*, 2012).

Cuadro 20. Longitud del pezón (cm) según la posición de los pezones (POP), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1)

POP	N	Media $\pm$ E.E.
Posterior	4.761	4,56 $\pm$ 0,02a
Anterior	4.763	5,73 $\pm$ 0,02b

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

Zwertvaegher *et al.* (2012) también determinaron en vacas Holstein, una mayor LPE para los pezones anteriores respecto a los posteriores, diferencia que fue estadísticamente significativa tanto en el estudio transversal ( $P < 0,001$ ), como en el estudio longitudinal ( $P < 0,001$ ). En una investigación realizada con 38 vacas Brown Swiss x German Braunvieh, Weiss *et al.* (2004) también encontraron un efecto significativo de la POP sobre la LPE ( $P < 0,05$ ), corroborando la mayor LPE de los pezones anteriores respecto a los posteriores.

La magnitud de la diferencia encontrada en el presente estudio entre los promedios de longitud de los pezones anteriores y posteriores (1,17 cm), se asemeja a la observada por Riera-Nieves *et al.* (2006), quienes determinaron una diferencia de 1 cm de LPE entre los pezones anteriores y posteriores, al analizar conjuntamente los resultados obtenidos en vacas de las razas Carora, Holstein y Jersey. De los resultados obtenidos por Higgins *et al.* (1980) y Weiss *et al.* (2004), se desprende que la diferencia de LPE entre los pezones anteriores y posteriores alcanzó aproximadamente a 1 cm. Tanto en el estudio transversal como longitudinal de Zwertvaegher *et al.* (2012), las diferencias entre las medias de mínimos cuadrados de la LPE, según la posición de los pezones, alcanzaron una magnitud del orden de 0,8 cm.

#### 5.6.1.4. Forma del pezón

La FPE afectó significativamente la LPE ( $P < 0,0001$ ), representando este factor un 6% de la variación de la LPE explicada por el Modelo 1.

De acuerdo a los resultados obtenidos con dicho modelo, el menor promedio de LPE (cm) correspondió a los pezones en forma cilíndrica, obteniéndose un valor intermedio para los pezones en forma de pera y el más elevado para los pezones cónicos: 4,93a; 5,18b y 5,37c, respectivamente (Cuadro 21).

Cuadro 21. Longitud del pezón (cm) según la forma del pezón (FPE), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1)

FPE	N	Media $\pm$ E.E.
Cilindro	5.997	4,93 $\pm$ 0,01a
Pera	2.679	5,18 $\pm$ 0,02b
Cono	848	5,37 $\pm$ 0,03c

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

El Modelo 2, donde además de las vacas con las tres categorías de FPE evaluadas, se incluyó una cuarta categoría (vacas con pezones de distintas FPE), también mostró un efecto significativo de dicho factor sobre la LPE ( $P < 0,0001$ ). En contraposición a lo observado con el Modelo 1, la FPE fue uno de los factores que en mayor medida contribuiría a la variación de la LPE explicada por el Modelo 2 (25%).

Los promedios de LPE (cm) de las vacas con pezones en forma de cilindro, pera y cono, mostraron un ordenamiento similar al obtenido mediante el Modelo 1: 4,75a; 5,16c y 5,34d, respectivamente; mientras que la LPE en las vacas con FPE NC alcanzó un promedio de 4,99b (Cuadro 22).

Cuadro 22. Longitud del pezón (cm) según la forma del pezón (FPE), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

FPE	N	Media $\pm$ E.E.
Cilindro	1.155	4,75 $\pm$ 0,02a
No Clasificable (NC)	453	4,99 $\pm$ 0,03b
Pera	302	5,16 $\pm$ 0,04c
Cono	88	5,34 $\pm$ 0,08d

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

Los resultados indicarían la existencia de una relación entre la LPE y la FPE, lo que es compatible con los resultados de Bakken (1981), quién determinó una correlación altamente significativa entre las características LPE y FPE ( $P < 0,001$ ), al evaluar 504 vacas de primer parto de raza Rojo Noruego. Sin embargo, los resultados obtenidos para la LPE según la categoría de FPE no coincidirían con los informados por Bakken (1981), quien concluye que los pezones cilíndricos fueron en promedio más largos que los pezones en forma de embudo (cono) y semiembudo (semicono), basado en el análisis descriptivo de las distribuciones de frecuencia de FPE según categorías de LPE.

Los resultados del presente estudio tampoco concordarían con los de Binde y Bakke (1984), obtenidos también en vacas de raza Rojo Noruego, puesto que en un primer examen dichos autores comprobaron que los pezones en forma de embudo (cono), eran más cortos que los pezones en forma de cilindro ( $P < 0,05$ ); mientras que en un segundo examen, no se encontró diferencias significativas en la LPE entre ambas formas de pezón.

Por otra parte, en un trabajo realizado con 402 vacas Holstein, Higgins *et al.* (1980), concluyen que los pezones cilíndricos fueron significativamente más cortos que los con forma de botella (pera) y embudo (cono), siendo los pezones de mayor longitud los con forma de botella (pera). Estos resultados coinciden en parte con los del presente estudio, los cuales indican que efectivamente los pezones más cortos fueron los cilíndricos, pero la FPE de mayor longitud correspondió a los pezones en forma de cono (embudo).

### 5.6.1.5. Forma de la punta del pezón

La FPU también se relacionaría significativamente la LPE ( $P < 0,0001$ ), contribuyendo en un 8% a la variación de la LPE explicada por el Modelo 1.

Los resultados obtenidos mediante el Modelo 1, indican que el promedio más bajo de LPE (cm) correspondió a los pezones con FPU plana, seguidos de los pezones con FPU redondeada, determinándose el valor más elevado para los pezones con FPU puntiaguda: 4,87a; 5,17b y 5,42c; respectivamente (Cuadro 23). De los 9.524 pezones evaluados, en 1.429 pezones se encontró algún grado de hiperqueratosis (puntaje  $\geq 2$ ), los cuales no se clasificaron en alguna de las tres categorías de FPU señaladas; identificándose esta categoría como FPU no clasificable (NC). El promedio de LPE (cm) correspondiente a dicha categoría fue 5,17b.

Cuadro 23. Longitud del pezón (cm) según la forma de la punta del pezón (FPU), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1)

FPU	N	Media $\pm$ E.E.
Plana	3.874	4,87 $\pm$ 0,02a
No Clasificable (NC)	1.429	5,17 $\pm$ 0,03b
Redondeada	3.065	5,17 $\pm$ 0,02b
Puntiaguda	1.156	5,42 $\pm$ 0,03c

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

En el Modelo 2, donde además de las vacas con las tres categorías de FPU, se incluyó la categoría de vacas con FPU NC (vacas con pezones de distintas FPU y/o un puntaje  $\geq 2$  de hiperqueratosis), también se observó un efecto significativo de la FPU sobre la LPE ( $P < 0,0001$ ). En contraposición a lo encontrado con el Modelo 1, la FPU contribuiría de manera importante a explicar la variación de la LPE (22%).

Cuadro 24. Longitud del pezón (cm) según la forma de la punta del pezón (FPU), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

FPU	N	Media $\pm$ E.E.
Plana	554	4,71 $\pm$ 0,03a
No Clasificable (NC)	854	4,98 $\pm$ 0,03b
Redondeada	418	5,02 $\pm$ 0,04b
Puntiaguda	172	5,22 $\pm$ 0,06c

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

De acuerdo al Modelo 2 (Cuadro 24), los promedios de LPE (cm) de las vacas con pezones con FPU plana, redondeada y puntiaguda, mostraron el mismo ordenamiento obtenido mediante el modelo 1: 4,71a; 5,02b y 5,22c, respectivamente; en tanto que la LPE correspondiente a las vacas con FPU NC alcanzó un promedio de 4,98b.

Estos resultados, al igual que los obtenidos por Bakken (1981), reflejarían la existencia de una relación entre la LPE y la FPU. En el estudio de Bakken (1981), se determinó una correlación altamente significativa entre ambas características ( $r = 0,26$ ;  $P < 0,001$ ), donde los pezones de menor a mayor longitud correspondían respectivamente a las siguientes FPU: planas, semiplanas, redondeadas, semipuntiagudas y puntiagudas. Dichos resultados serían compatibles con los del presente estudio, donde el ordenamiento de menor a mayor para la LPE en ambos modelos, según la FPU, fue puntas de pezón plana, redondeada y puntiaguda.

La relación observada entre FPU y LPE reflejaría en alguna medida las diferencias de frecuencias de FPU dentro de cada categoría de FPE (Cuadro 54), las cuales mostraron diferencias significativas en lo referente a LPE (Cuadros 21 y 22), correspondiendo a los pezones cónicos y cilíndricos el mayor y menor LPE, respectivamente; obteniéndose un valor intermedio para los pezones en forma de pera. Como se observa en el cuadro 54, la FPE de mayor longitud (cono) fue la única que mostró una frecuencia más elevada de FPU puntiaguda, respecto a las frecuencias observadas en las vacas con pezones en forma de cilindro y pera.

A continuación se presentan y discuten los resultados para los factores REG, SP, NOP, DEL y DPEA, obtenidos con el modelo que incluyó la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).

#### 5.6.1.6. Región

Aunque este factor afectó significativamente a la LPE ( $P = 0,0067$ ), su efecto sobre esta característica no sería relevante ni importante en términos prácticos, puesto que representaría sólo un 3% de la variación de la LPE explicada por el Modelo 2.

Tomando como base de comparación la Región (REG) con mayor número de observaciones y rebaños en estudio (X Región), no habrían diferencias estadísticamente significativas en la LPE respecto a los promedios determinados para esta característica en las Regiones Metropolitana, V, VIII y XIV. El promedio de LPE de las vacas de la X Región fue significativamente mayor en comparación al de las vacas de la IV Región; resultado que podría estar dado porque los datos de la IV Región corresponden a un solo rebaño, conformado principalmente por vacas de primera y segunda lactancia. El promedio de LPE de las vacas de la X Región fue significativamente menor sólo en comparación a las vacas de la IX Región; resultado que no estaría relacionado con diferencias en la edad de los rebaños de estas regiones, pero que podría estar influido por el menor número de rebaños y vacas evaluadas en la IX Región (Cuadro 25).

Cuadro 25. Longitud del pezón (cm) según la región (REG), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

REG	N	Media $\pm$ E.E.
IV	80	4,75 $\pm$ 0,08a
RM	158	4,78 $\pm$ 0,06ab
V	79	4,81 $\pm$ 0,08ab
XIV	575	4,87 $\pm$ 0,03ab
X	785	4,97 $\pm$ 0,03bc
VIII	233	5,11 $\pm$ 0,05cd
IX	88	5,30 $\pm$ 0,08d

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

Aunque estadísticamente significativas, las diferencias regionales en la LPE fueron en general de baja magnitud y alcanzaron un máximo de 0,55 cm.

#### 5.6.1.7. Sistema productivo

El factor SP ejerció un efecto significativo sobre la LPE ( $P < 0,0001$ ), contribuyendo en un 7% a la variación explicada por el Modelo 2 para esta característica.

Los promedios de LPE (cm), en orden creciente de magnitud, alcanzaron a 4,83a; 4,96b y 5,17c; para las vacas manejadas en sistemas de producción en confinamiento, pastoreo y mixto, respectivamente (Cuadro 26).

Cuadro 26. Longitud del pezón (cm) según el sistema productivo (SP), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

SP	N	Media $\pm$ E.E.
Confinamiento	406	4,83 $\pm$ 0,04a
Pastoreo	1.448	4,96 $\pm$ 0,02b
Mixto	144	5,17 $\pm$ 0,06c

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

Las diferencias en la LPE entre sistemas productivos, parecen estar relacionadas fundamentalmente con diferencias en la longevidad productiva de los rebaños que integran dichos sistemas, lo que se refleja en las distribuciones de las vacas según NOP y promedios de NOP. Así, los 5 rebaños en estudio manejados en confinamiento, ubicados entre las Regiones IV y VIII, presentaron las siguientes frecuencias de vacas de NOP 1, 2 y  $\geq 3$ : 48, 22 y 30%, respectivamente. En cambio, las frecuencias de vacas correspondientes a dichos NOP alcanzaron a 23, 26 y 51%, en los 24 rebaños bajo sistemas de producción en pastoreo. De acuerdo a la literatura y los resultados obtenidos en este mismo estudio, podría afirmarse que la menor edad o NOP promedio de los rebaños en confinamiento (promedio de NOP = 1,99), se asociaría a una menor LPE, ocurriendo lo inverso en los rebaños a pastoreo (promedio de NOP = 2,95). El valor de la LPE determinado para el sistema mixto de producción, corresponde a un solo rebaño ubicado en la VIII Región, lo que limita la

comparación del NOP de sus vacas, con el NOP de los rebaños pertenecientes a los otros sistemas productivos.

Heins *et al.* (2008) compararon vacas Holstein con la cruce Jersey x Holstein, todas de primera lactancia, evaluando características productivas, fertilidad, peso corporal y características de ubre; disponiendo para ello de 90 vacas confinadas en un sistema de establo convencional y 150 vacas manejadas a pastoreo. La medición de la LPE de los pezones anteriores arrojó un promedio significativamente mayor para las vacas confinadas ( $P < 0,05$ ), en comparación a las manejadas en pastoreo (4,7 y 4,3 cm; respectivamente); pero los autores no señalan las posibles causas de la diferencia en la LPE según el sistema productivo.

En el presente estudio, al analizar los resultados obtenidos con animales de primera lactancia, incluyendo un total de 196 vacas H en confinamiento, y 337 vacas H y Jc en pastoreo, se obtuvieron los siguientes promedios de LPE, los cuales no mostrarían mayores diferencias en esta característica entre ambos sistemas productivos: 4,61 y 4,52 cm; respectivamente. Este análisis corroboraría que las diferencias de LPE entre SP, detectadas al analizar el total de datos (Cuadro 26), estarían determinadas principalmente por las diferencias en el NOP promedio de los rebaños manejados en confinamiento y a pastoreo.

#### 5.6.1.8. Número ordinal de parto

El NOP afectó significativamente la LPE ( $P < 0,0001$ ) y fue el factor que en mayor medida contribuyó a la variación de la LPE explicada por el Modelo 2 (28%).

La LPE (cm) de las vacas de NOP 1, 2 y  $\geq 3$ , alcanzó promedios de 4,68a; 4,94b y 5,16c, respectivamente. Ello significaría que, en promedio, la LPE aumenta en 0,26 cm entre los NOP 1 y 2, incrementándose en 0,22 cm entre los NOP 2 y  $\geq 3$  (Cuadro 27). De acuerdo a estos resultados, las vacas de  $\text{NOP} \geq 3$  presentarían un 10% más de LPE, en comparación a las vacas de NOP 1.

Cuadro 27. Longitud del pezón (cm) según el número ordinal de parto (NOP), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

NOP	N	Media $\pm$ E.E.
1	583	4,68 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>
2	500	4,94 $\pm$ 0,03 <sup>b</sup>
$\geq 3$	915	5,16 $\pm$ 0,03 <sup>c</sup>

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

Binde y Bakke (1984), también comprobaron que las vacas de 1<sup>a</sup> lactancia tenían pezones de longitud significativamente menor, comparadas con las vacas de mayor edad ( $P < 0,01$ ). Al igual que en el presente estudio, utilizando las mismas categorías de NOP, Zwertvaegher *et al.* (2012), demostraron en vacas Holstein un incremento significativo de la LPE con el aumento del NOP, tanto en el estudio transversal ( $P < 0,001$ ), como en el longitudinal ( $P < 0,001$ ). Las medias de mínimos cuadrados, correspondientes a la LPE de vacas de 1, 2 y 3 o más lactancias, alcanzaron respectivamente a 4,9; 5,1 y 5,3 cm (estudio transversal), y 5,2; 5,5 y 5,7 cm (estudio longitudinal).

En el presente estudio, la diferencia entre los promedios de LPE de las vacas de NOP 1 y  $\geq 3$ , alcanzó aproximadamente a 0,5 cm. Esta diferencia se asemejaría a las observadas entre las mismas categorías de NOP por Zwertvaegher *et al.* (2012), las cuales alcanzaron a 0,4 cm (estudio transversal) y 0,5 cm (estudio longitudinal). En cambio, sería algo menos evidente que la descrita por Rasmussen *et al.* (1998), quién estudió durante 8 meses la LPE en 115 vacas Holstein Danesas, comprobando que en las vacas de más edad, la LPE era 10 mm mayor en comparación a animales de primera lactancia. Orban *et al.* (2009), señalan que con el avance del NOP, la longitud de los pezones se incrementaría en unos pocos mm, aunque no especifican la magnitud de dicho incremento.

Por otra parte, los resultados de Seykora y McDaniel (1986), obtenidos en vacas Holstein, reflejan un incremento de aproximadamente un 10% en la LPE, desde la primera a la cuarta lactancia. La magnitud de este incremento proporcional en la LPE, coincidiría exactamente con la observada en el presente estudio, desde la primera a la tercera o más lactancias.

En general, los resultados del presente estudio serían consistentes con lo establecido en la literatura, dado que en varias investigaciones se ha descrito un aumento de la LPE con el incremento del NOP. Sin embargo, de acuerdo a la revisión bibliográfica de Zwertvaegher (2012), aun cuando el aumento de las dimensiones del pezón generalmente es interpretado como un fenómeno de crecimiento de la glándula mamaria, dependiente de la edad, no siempre se ha demostrado que las relaciones entre las variables morfológicas cuantitativas del pezón y el número ordinal de parto sean estadísticamente significativas, o en aquellos trabajos en que se han demostrado diferencias significativas en las dimensiones de los pezones entre distintos NOP, la magnitud de estas diferencias ha sido pequeña, por lo que dicho autor sostiene que su relevancia biológica aún necesita ser investigada.

#### 5.6.1.9. Días en lactancia

El factor DEL también afectó significativamente la LPE ( $P < 0,0001$ ), aunque su efecto sería menos evidente que el ejercido por el NOP, dado que representaría sólo un 7% de la variación explicada por el Modelo 2.

Los promedios correspondientes a  $\leq 100$ , 101 – 200 y  $> 200$  días de lactancia, denotan un incremento significativo de la LPE (cm) entre el primer y segundo periodo de lactancia, sin observarse un aumento de la LPE entre los dos últimos periodos de la lactancia: 4,8a; 4,98b y 5,02b, respectivamente (Cuadro 28).

Cuadro 28. Longitud del pezón (cm) según días en lactancia (DEL), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

DEL	N	Media $\pm$ E.E.
$\leq 100$	582	4,80 $\pm$ 0,03a
101 - 200	427	4,98 $\pm$ 0,04b
$> 200$	989	5,02 $\pm$ 0,02b

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

Dividiendo la lactancia en seis periodos, Zwertvaegher *et al.* (2012), también verificaron un efecto significativo de los días en lactancia sobre la longitud del pezón, tanto en su estudio transversal ( $P = 0,03$ ), como en el longitudinal ( $P < 0,001$ ). Las medias de mínimos

cuadrados para los días 0-30, 31-60, 61-120, 121-180, 181-240 y >240 de lactancia alcanzaron respectivamente a 4,91; 5,10; 5,05; 5,20; 5,17 y 5,17 cm (estudio transversal), y 5,24; 5,45; 5,50; 5,54; 5,55 y 5,55 cm (estudio longitudinal). Según dichos autores, en el primer estudio se observó un incremento leve de la longitud del pezón después de alcanzar el valor mínimo durante los primeros 30 días de lactancia (4,91 cm), registrándose el promedio más elevado entre los días 121 – 180 de lactancia (5,20 cm); mientras que en el longitudinal, el incremento de la longitud del pezón después de los primeros 30 días en lactancia, fue estadísticamente significativo e importante en magnitud, experimentando pocos cambios durante el resto de la lactancia. Considerando los resultados de ambos estudios, Zwertvaegher *et al.* (2012), concluyen que la longitud del pezón experimentaría pocos cambios después del día 30 de lactancia.

Los resultados del presente estudio indicarían que la LPE alcanza sus valores máximos después del día 100 de lactancia, sin experimentar aparentemente cambios posteriores, dado que no hubo diferencias significativas en la LPE entre el segundo y tercer periodo de lactancia (Cuadro 28). Utilizando el mismo criterio Zwertvaegher *et al.* (2012) de categorización de la lactancia, los resultados del presente estudio analizando sólo vacas Holstein, mostrarían que el promedio más alto de LPE correspondería a los días 121 a 180 de lactancia, sin experimentar posteriormente cambios estadísticamente significativos: 4,64c; 4,65c; 4,84bc; 5,00ab, 5,08a y 5,06ab cm, para los días 0-30, 31-60, 61-120, 121-180, 181-240 y >240, respectivamente.

Zwertvaegher *et al.* (2012), señalan que aunque no existe consenso respecto a la importancia del efecto de la etapa de la lactancia sobre la longitud del pezón, la mayoría de los estudios parece informar un incremento de la LPE durante los primeros meses de lactancia. Los resultados contradictorios obtenidos tanto para la longitud del pezón como para el diámetro del pezón, pueden deberse en parte a los distintos criterios utilizados para clasificar las etapas de la lactancia. Adicionalmente, los cambios en la longitud y el diámetro del pezón pueden estar asociados a variaciones en el rendimiento lácteo, interacciones con la máquina de ordeña, efectos asociados a la edad o estado de preñez, pudiendo también influir la presentación de edema mamario durante la lactancia inicial.

#### 5.6.1.10. Dirección de los pezones anteriores

Como se señaló, de las variables incluidas en el Modelo 2, la DPEA fue la única que no afectó significativamente la LPE ( $P = 0,1925$ ).

La LPE no sólo fue similar en las vacas con pezones hacia abajo, afuera y adentro, sino también en aquellas con DPEA no clasificable (NC); categoría que comprende a los animales cuyos pezones anteriores presentaban distintas direcciones (Cuadro 29).

Cuadro 29. Longitud del pezón (cm) según la dirección de los pezones anteriores (DPEA), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

DPEA	N	Media $\pm$ E.E.
Abajo	1.160	4,91 $\pm$ 0,02a
Afuera	301	4,92 $\pm$ 0,04a
Adentro	187	4,95 $\pm$ 0,05a
No Clasificable (NC)	350	5,03 $\pm$ 0,04a

Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas ( $P > 0,05$ )

En la revisión de la literatura, sólo se encontró un trabajo que entrega antecedentes sobre la LPE según la DPEA (Higgins *et al.*, 1980). En este trabajo, realizado con vacas Holstein, se informa que la longitud de los pezones anteriores dispuestos perpendicularmente, es significativamente menor en comparación a los que no están dispuestos en dicha dirección ( $P < 0,001$ ); resultados que no concordarían con los obtenidos en el estudio (Cuadro 29). Al analizar sólo las vacas Holstein evaluadas en el presente estudio, tampoco se encontraron diferencias significativas en la LPE (cm), entre las categorías afuera, abajo y adentro: 5,61a, 5,51a y 5,50a; respectivamente ( $P = 0,0620$ ).

#### 5.6.2. Factores que afectan el diámetro en la base del pezón

El modelo de análisis de los factores que afectan el diámetro de los pezones en la base, utilizando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1), fue altamente significativo ( $P < 0,0001$ ), alcanzando un  $r^2$  de 0,25. Todos los factores incluidos en el Modelo afectaron significativamente esta variable, observándose el mismo nivel de significancia ( $P < 0,0001$ ).

El modelo de análisis del DPE B que consideró la vaca como unidad de estudio (Modelo 2), también fue significativo, obteniéndose un coeficiente de determinación similar al del Modelo 1:  $P < 0,0001$ ;  $r^2 = 0,28$ . El DPE B fue afectado por los siguientes factores, con sus correspondientes niveles de significancia: GEN, FPE, SP y NOP ( $P < 0,0001$ ); DPEA ( $P = 0,0006$ ); FPU ( $P = 0,0023$ ) y REG ( $P = 0,0210$ ). No se encontró un efecto significativo del factor DEL sobre el DPE B, aunque el nivel de significancia se acercó al 5% ( $P = 0,0556$ ).

#### 5.6.2.1. Rebaño

Los resultados obtenidos mediante el Modelo 1 de análisis, indican que el DPE B se vio afectado significativamente por este factor ( $P < 0,0001$ ). El factor Rebaño (REB) representaría un 16% de la variación del DPE B explicada por el Modelo 1, lo que denotaría una importancia similar a la observada al analizar el efecto de este factor sobre la LPE mediante el mismo modelo.

Este resultado sugeriría que comparado con otros factores, el factor REB es una fuente de variación del DPE B relativamente poco importante, lo que sería compatible con los resultados del estudio transversal y longitudinal de Zwertvaegher *et al.* (2012), según los cuales la mayor parte de la variación del diámetro del pezón medido en distintas zonas, reside en la vaca o en el nivel dentro de la vaca (pezones), y no a nivel de REB. En los dos estudios de Zwertvaegher *et al.* (2012), los factores propios de la vaca representarían más del 50% de la variación del diámetro del pezón explicada por el modelo. En cambio, considerando ambos estudios y los diferentes puntos de medición del diámetro del pezón, el rebaño contribuiría en no más de un 15% a la variación explicada por los modelos estadísticos.

### 5.6.2.2. Genotipo

Los dos modelos de análisis mostraron un efecto significativo del GEN y con el mismo nivel de significancia sobre el DPE B ( $P < 0,0001$ ). En contraposición a lo observado para la LPE, dicho factor contribuiría de manera importante a la variación del DPE B, puesto que representaría un 30 y 38% de la variación del DPE B explicada por los Modelos 1 y 2, respectivamente.

El primer tipo de análisis, mostró el siguiente ordenamiento de los GEN para los promedios de DPE B (cm): Jc (2,71a), H (3,07b), FR (3,09bc), FRxRRL (3,13c) y FN (3,30d); observándose diferencias significativas entre los dos primeros, pero no al comparar la raza FR con los genotipos H y FRxRRL, correspondiendo el promedio significativamente mayor de DPE B a la raza FN, dentro de todos los genotipos evaluados (Cuadro 30).

Cuadro 30. Diámetro en la base del pezón (cm) según el genotipo (GEN), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1)

GEN	N	Media $\pm$ E.E.
Jersey y Cruzas con Jersey (Jc)	1.574	2,71 $\pm$ 0,01a
Holstein Friesian (H)	5.978	3,07 $\pm$ 0,01b
Frisón Rojo (FR)	1.224	3,09 $\pm$ 0,01bc
Frisón Rojo x Razas Rojas Lecheras (FRxRRL)	704	3,13 $\pm$ 0,03c
Frisón Negro (FN)	44	3,30 $\pm$ 0,07d

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

El análisis mediante el Modelo 2, entregó los siguientes promedios para los genotipos Jc, FRxRRL, H, FR y FN: 2,63a; 2,97b; 2,98b; 2,99b y 3,11c; respectivamente; resultados que denotan similitud en el DPE B de los genotipos FRxRRL, H y FR, correspondiendo el promedio significativamente más bajo y más elevado a los genotipos Jc y FN, respectivamente (Cuadro 31).

Cuadro 31. Diámetro en la base del pezón (cm) según el genotipo (GEN), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

GEN	N	Media $\pm$ E.E.
Jersey y Cruzas con Jersey (Jc)	380	2,63 $\pm$ 0,02a
Frisón Rojo x Razas Rojas Lecheras (FRxRRL)	108	2,97 $\pm$ 0,03b
Holstein Friesian (H)	1.361	2,98 $\pm$ 0,01b
Frisón Rojo (FR)	141	2,99 $\pm$ 0,03b
Frisón Negro (FN)	8	3,11 $\pm$ 0,13c

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

Al igual que en el caso de la LPE, los resultados del Modelo 2 muestran cierta similitud a los del Modelo 1, en cuanto al ordenamiento de los genotipos según el DPE B, alcanzando los promedios de esta variable valores algo más bajos, probablemente porque la unidad de estudio (vaca), representa el promedio de DPE B de los pezones de cada vaca. Además, en el Modelo 2 se dispuso de un menor número de observaciones en comparación al Modelo 1, el cual se vio a su vez disminuido debido a que 384 vacas no tenían la totalidad de los datos para cada una de las variables agregadas a dicho modelo estadístico. Ello también explicaría en parte que las diferencias de DPE B entre genotipos, hayan sido menos evidentes que las observadas al analizar esta variable mediante el Modelo 1.

No se encontraron antecedentes bibliográficos referentes al efecto de la raza o GEN sobre el DPE B, con excepción del estudio de Riera-Nieves *et al.* (2006). Ello es consistente con lo señalado por Zwervaegher *et al.* (2012); según los cuales, con excepción del diámetro en la mitad del pezón, no se ha investigado las diferencias que pudieran existir entre razas, para diámetros medidos en otras zonas de los pezones.

Riera-Nieves *et al.* (2006), comprobaron un efecto significativo del GEN sobre el diámetro del pezón ( $P < 0,0002$ ), medido en la parte más amplia del pezón, verificando también pezones de menor diámetro para la raza Jersey en comparación a la Holstein. Los promedios de diámetro para las razas Jersey, Holstein y Carora, alcanzaron a 2,1; 2,2 y 2,3 cm; respectivamente. Comparados con estos resultados, el presente estudio mostraría diferencias más evidentes entre los diámetros del pezón de los genotipos Jc y H. En el caso del DPE B, las diferencias entre genotipos alcanzaron a 0,36 y 0,35 cm (Modelos 1 y 2,

respectivamente); mientras que, como se analiza más adelante, para el DPE 1/2 las diferencias fueron de 0,28 y 0,29 cm (Modelos 1 y 2, respectivamente).

### 5.6.2.3. Posición de los pezones

Aunque no alcanzó el mismo nivel de importancia que el observado para la LPE, la posición de los pezones fue el tercer factor en cuanto a importancia que afectó al DPE B, contribuyendo en un 22% a la variación de esta característica explicada por el Modelo 1.

Como se observa en el cuadro 32, los promedios de DPE B (cm) de los pezones anteriores y posteriores fueron 3,15b y 2,90a, respectivamente. Además de significativa ( $P < 0,0001$ ), la diferencia entre ambos promedios alcanzó una magnitud de 0,25 cm; lo que proporcionalmente significaría un 9% más de DPE B para los pezones anteriores respecto a los posteriores.

Cuadro 32. Diámetro en la base del pezón (cm) según la posición de los pezones (POP), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1)

POP	N	Media $\pm$ E.E.
Posterior	4.761	2,90 $\pm$ 0,01a
Anterior	4.763	3,15 $\pm$ 0,01b

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

Higgins *et al.* (1980), al analizar descriptivamente el DPE B de un total de 402 vacas Holstein, informan promedios de 3,64 y 3,38 cm para los pezones anteriores y posteriores, respectivamente; valores que indicarían un mayor DPE B en comparación a los promedios determinados en este estudio, al analizar exclusivamente vacas de razas Holstein: 3,07a y 2,84b, para el DPE B (cm) de los pezones anteriores y posteriores, respectivamente ( $P < 0,0001$ ); alcanzando la diferencia entre promedios (0,23 cm), una magnitud levemente menor a la existente entre los promedios determinados por Higgins *et al.* (1980).

No se encontraron otros antecedentes bibliográficos referentes a DPE B de los pezones según su posición. Aunque no son estrictamente comparables, podrían citarse los resultados obtenidos por Zwertvaegher *et al.* (2012), para el diámetro del pezón medido desde la punta

hasta el 75% su longitud (D75), los cuales no demostrarían una relación clara entre dicho diámetro y la posición de los pezones. Así, mientras en el estudio transversal de dichos autores el D75 no se vio afectado por la posición de los pezones, en el estudio longitudinal se verificó un promedio levemente mayor para el D75 de los pezones anteriores respecto a los posteriores, siendo la diferencia estadísticamente significativa ( $P < 0,001$ )

#### 5.6.2.4. Forma del pezón

De acuerdo al Modelo 1, la FPE afectó significativamente el DPE B ( $P < 0,0001$ ), ubicándose este factor en el segundo lugar de importancia como fuente de variación del DPE B, ya que representaría un 28% de la variación explicada por este modelo.

Los resultados obtenidos con dicho modelo (Cuadro 33), mostraron el promedio más bajo de DPE B (cm), para los pezones de forma cilíndrica, obteniéndose un valor intermedio para los pezones en forma de pera, correspondiendo el promedio más elevado a los pezones cónicos: 2,85a; 3,0b y 3,27c, respectivamente.

Cuadro 33. Diámetro en la base del pezón (cm) según la forma del pezón (FPE), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1)

FPE	N	Media $\pm$ E.E.
Cilindro	5.997	2,85 $\pm$ 0,01a
Pera	2.679	3,00 $\pm$ 0,01b
Cono	848	3,27 $\pm$ 0,02c

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

El Modelo 2, también demostró un efecto significativo de la FPE sobre el DPE B ( $P < 0,0001$ ). Análogamente a lo observado con el Modelo 1, en el Modelo 2 la FPE fue uno de los factores que en mayor medida contribuiría a explicar la variación del DPE B (26%).

Los promedios de DPE B (cm) de las vacas con pezones en forma de cilindro, pera y cono, mostraron un ordenamiento similar al obtenido mediante el Modelo 1: 2,80a; 3,04c y 3,22d, respectivamente; mientras que en las vacas con distintas FPE, categorizadas como FPE No Clasificable (NC), el DPE B alcanzó un promedio de 2,95b (Cuadro 34).

Cuadro 34. Diámetro en la base del pezón (cm) según la forma del pezón (FPE), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

FPE	N	Media ± E.E.
Cilindro	1.155	2,80 ± 0,01a
No Clasificable (NC)	453	2,95 ± 0,02b
Pera	302	3,04 ± 0,02c
Cono	88	3,22 ± 0,04d

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

Los resultados del presente estudio, coincidirían parcialmente con los de Higgins *et al.* (1980). Dichos autores, analizaron la relación de la FPE con las dimensiones del pezón en vacas Holstein, concluyendo que los pezones cilíndricos tenían un menor DPE B que los pezones en forma de embudo (cono) y botella (pera), teniendo los pezones en forma de pera un DPE B levemente mayor que el de los pezones cónicos.

#### 5.6.2.5. Forma de la punta del pezón

La FPU se relacionaría significativamente el DPE B ( $P < 0,0001$ ), aunque contribuiría sólo en un 5% a la variación explicada por el Modelo 1 para esta característica.

Los resultados del Modelo 1, indican que el promedio menor de DPE B (cm) correspondió a los pezones con FPU plana, seguidos de los pezones con FPU redondeada y puntiaguda, los cuales mostraron promedios similares de DPE B: 2,97a; 3,04b y 3,05b, respectivamente. El promedio de DPE B (cm) de los pezones con FPU No Clasificable (NC) fue 3,06b (Cuadro 35).

Cuadro 35. Diámetro en la base del pezón (cm) según la forma de la punta del pezón (FPU), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1)

FPU	N	Media ± E.E.
Plana	3.874	2,97 ± 0,01a
Redondeada	3.065	3,04 ± 0,01b
Puntiaguda	1.156	3,05 ± 0,01b
No Clasificable (NC)	1.429	3,06 ± 0,01b

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

El Modelo 2, donde en la categoría FPU NC se incluyó vacas con pezones de distintas FPU y/o puntaje  $\geq 2$  de hiperqueratosis, también demostraría una relación significativa de la FPU con el DPE B ( $P = 0,0023$ ). Consistentemente con el Modelo 1, el Modelo 2 indicaría que la FPU es un factor poco relevante en la variación del DPE B explicada por el modelo (2%).

Los promedios de DPE B (cm) de las vacas según la FPU, mostraron un ordenamiento parecido al obtenido mediante el Modelo 1, determinándose los siguientes valores para las vacas con FPU plana, redondeada, NC y puntiaguda: 2,87a; 2,91ab; 2,94bc y 2,98c; respectivamente (Cuadro 36). De acuerdo a estos resultados, los promedios más bajos de DPE B corresponderían a las vacas con FPU plana y redondeada, no habiendo diferencias significativas entre ambas categorías, determinándose promedios algo más elevados en las vacas con FPU NC y puntiaguda, las cuales tampoco se diferenciaron estadísticamente. Las vacas con FPU puntiaguda mostraron un mayor DPE B, comparadas con las vacas con FPU plana y redondeada, pero no con las que tenían FPU NC: mientras que el DPE B de estas últimas superaría al de las vacas con FPU plana, pero no a aquellas con FPU redondeadas.

Cuadro 36. Diámetro en la base del pezón (cm) según la forma de la punta del pezón (FPU), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

FPU	N	Media $\pm$ E.E.
Plana	554	2,87 $\pm$ 0,02a
Redondeada	418	2,91 $\pm$ 0,02ab
No Clasificable (NC)	854	2,94 $\pm$ 0,01bc
Puntiaguda	172	2,98 $\pm$ 0,03c

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

No se encontraron estudios que entreguen antecedentes sobre una eventual relación entre la FPU y el DPE B.

La relación observada entre FPU y DPE B parece estar determinada en algún grado por las distintas frecuencias de FPU dentro de cada categoría de FPE, las cuales mostraron diferencias significativas en lo referente a DPE B (Cuadros 33 y 34), correspondiendo a los pezones cónicos y cilíndricos el mayor y menor DPE B, respectivamente; obteniéndose un

valor intermedio para los pezones en forma de pera. Como se observa en el cuadro 54, la FPE de mayor diámetro (cono) fue la única que mostró una frecuencia más elevada de FPU puntiaguda, respecto a las frecuencias observadas en las vacas con pezones en forma de cilindro y pera.

A continuación se presentan y discuten los resultados para los factores REG, SP, NOP, DEL y DPEA, obtenidos con el modelo que incluyó la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).

#### 5.6.2.6. Región

Aunque este factor afectó significativamente el DPE B ( $P = 0,0210$ ), al igual que lo observado para la LPE, su efecto sobre esta característica sería poco importante, puesto que representaría sólo un 2% de la variación del DPE B explicada por el Modelo 2.

De acuerdo a los resultados presentados en el cuadro 37, considerando como base la Región (REG) con mayor número de observaciones y rebaños (X Región), no habrían diferencias estadísticamente significativas en el promedio del DPE B, de las vacas de sus rebaños, en comparación a los promedios obtenidos en las Regiones Metropolitana, IV, V y XIV. El promedio de DPE B de las vacas de la X Región resultó significativamente menor respecto a los valores correspondientes a las vacas de la VIII y IX Regiones; lo que también ocurrió al comparar la XIV Región con la RM. Aunque significativas, estas diferencias regionales en el DPE B fueron en general de escasa magnitud, alcanzando un valor máximo de 0,29 cm y no estarían relacionadas con diferencias en la edad ni el genotipo de los rebaños de estas regiones, pudiendo influir en el caso de IX Región, el bajo número de rebaños y vacas evaluadas.

Cuadro 37. Diámetro en la base del pezón (cm) según la región (REG), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

REG	N	Media ± E.E.
XIV	575	2,80 ± 0,02a
IV	80	2,88 ± 0,04ab
V	79	2,89 ± 0,04ab
X	785	2,91 ± 0,01ab
RM	158	2,96 ± 0,03b
IX	88	3,09 ± 0,04c
VIII	233	3,09 ± 0,02c

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

#### 5.6.2.7. Sistema productivo

El SP afectó significativamente el DPE B ( $P < 0,0001$ ), representando este factor un 6% de la variación de la característica explicada por el Modelo 2.

Los promedios correspondientes a los sistemas de producción en pastoreo, confinamiento y mixto (Cuadro 38), indicarían un DPE B (cm) significativamente mayor para el último sistema (3,16b), sin registrarse diferencias estadísticamente significativas entre los promedios obtenidos para las vacas manejadas en los sistemas basados en el pastoreo (2,88a) y en confinamiento (2,94a).

Cuadro 38. Diámetro en la base del pezón (cm) según el sistema productivo (SP), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

SP	N	Media ± E.E.
Pastoreo	1.448	2,88 ± 0,01a
Confinamiento	406	2,94 ± 0,02a
Mixto	144	3,16 ± 0,03b

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

Este último resultado difiere respecto al obtenido al analizar la LPE, donde los distintos promedios de NOP de las vacas manejadas bajo los sistemas de producción en confinamiento y basados en el pastoreo (1,99 y 2,95; respectivamente), se habrían reflejado en diferencias significativas en la LPE (Cuadro 26). Como se analiza más adelante,

tampoco se pudo detectar una relación aparente entre la distinta longevidad productiva de las vacas manejadas en confinamiento y pastoreo, con la variable DPE 1/2.

No se encontraron antecedentes bibliográficos referentes a una eventual relación entre el DPE B y el SP.

#### 5.6.2.8. Número ordinal de parto

El NOP ejerció un efecto significativo sobre el DPE B ( $P < 0,0001$ ), constituyendo el factor que contribuiría en tercer lugar en cuanto importancia a la variación del DPE B explicada por el Modelo 2 (23%).

Como se observa en el cuadro 39, el DPE B (cm) de las vacas de NOP 1, 2 y  $\geq 3$ , alcanzó promedios de 2,80a; 2,88b y 3,04c, respectivamente. Estas diferencias indicarían un incremento moderado del DPE B entre los NOP 1 y 2, observándose un aumento más evidente entre los NOP 2 y  $\geq 3$ : 0,08 y 0,16 cm, respectivamente. La diferencia de DPE B entre los promedios de las vacas de NOP 1 y  $\geq 3$  alcanzó a 0,24 cm, lo que equivale a un 9% de mayor DPE B en las vacas de NOP  $\geq 3$ .

Cuadro 39. Diámetro en la base del pezón (cm) según el número ordinal de parto (NOP), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

NOP	N	Media $\pm$ E.E.
1	583	2,80 $\pm$ 0,02a
2	500	2,88 $\pm$ 0,02b
$\geq 3$	915	3,04 $\pm$ 0,01c

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

Estos resultados son compatibles con los obtenidos en vacas Holstein, tanto en el estudio transversal como longitudinal de Zwervaeher *et al.* (2012), quienes demostraron un efecto significativo del NOP sobre el diámetro proximal (medido a 75% de la LPE, desde la punta del pezón). En vacas de NOP 1, 2 y  $\geq 3$ , estos autores determinaron las siguientes medias de mínimos cuadrados, para el diámetro proximal del pezón: 2,7; 2,8 y 2,9 cm (estudio transversal,  $P < 0,001$ ), y 2,8; 3,0 y 3,1 cm (estudio longitudinal,  $P < 0,001$ ).

#### 5.6.2.9. Días en lactancia

El factor DEL no mostró un efecto claro sobre el DPE B, puesto que representaría menos del 1% de la variación explicada por el Modelo 2. Además, aunque el efecto de este factor tuvo un nivel de significancia cercano al 5% ( $P = 0,0556$ ), se observaron diferencias mínimas entre los promedios de DPE B de las vacas en segundo tercio de lactancia (101 a 200 días), respecto a aquellas que se encontraban en el primer tercio ( $\leq 100$  días) y en el último período de la lactancia ( $> 200$  días). Por estas razones, se consideró que el factor DEL no afectó el DPE B (Cuadro 40).

Cuadro 40. Diámetro en la base del pezón (cm) según los días en lactancia (DEL), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

DEL	N	Media $\pm$ E.E.
$\leq 100$	582	2,91 $\pm$ 0,02a
101-200	427	2,96 $\pm$ 0,02a
$> 200$	989	2,91 $\pm$ 0,01a

Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas ( $P > 0,05$ )

Estos resultados serían distintos a los obtenidos en vacas Holstein por Zwervaegher *et al.* (2012), quienes demostraron un efecto significativo de los días de lactancia sobre el diámetro proximal del pezón, tanto en el estudio transversal ( $P < 0,001$ ), como en el estudio longitudinal ( $P < 0,001$ ). En ambos estudios, particularmente en el estudio transversal, las medias de mínimos cuadrados correspondientes a seis etapas de la lactancia (0-30, 31-60, 61-120, 121-180, 181-240 y  $> 240$  días), indicarían cambios moderados en el DPE B a medida que transcurre la lactancia: 2,9; 2,8; 2,7; 2,8; 2,7 y 2,7 cm (estudio transversal) y 3,1; 3,0; 2,9; 2,9; 2,9 y 2,9 cm (estudio longitudinal).

Al analizar sólo los resultados de DPE B obtenidos en el presente estudio en vacas Holstein, utilizando las mismas categorías de DEL que Zwervaegher *et al.* (2012), se determinaron los siguientes promedios (cm): 2,93a; 2,86a; 2,97a; 2,97a; 2,98a y 2,95a; los cuales no se diferenciaron estadísticamente entre sí ( $P = 0,1126$ ).

En consecuencia, los resultados obtenidos en el presente estudio al analizar los datos de todas las vacas y los correspondientes sólo a vacas Holstein, no indicarían la existencia de una relación entre los días de lactancia y el DPE B; lo que diferiría de lo informado en el trabajo de Zwervaegeher *et al.* (2012), al analizar el efecto de la etapa de la lactancia dividida en seis categorías. En el estudio transversal de dichos autores, se describe un patrón de variación del diámetro proximal de los pezones, caracterizado por una disminución significativa en la lactancia temprana, para posteriormente estabilizarse hasta el término de la lactancia.

#### 5.6.2.10. Dirección de los pezones anteriores

En contraposición a lo observado para la LPE, el Modelo 2 mostró un efecto significativo de la DPEA sobre el DPE B ( $P = 0,0006$ ); aunque contribuiría apenas en un 2% a la variación explicada por el modelo.

Como se observa en el cuadro 41, los promedios de DPE B (cm), de las vacas con pezones anteriores dirigidos hacia adentro, abajo y afuera fueron 2,86a; 2,89ab y 2,98c; respectivamente; obteniéndose un promedio de 2,95bc en las vacas con DPEA no clasificable (NC). De acuerdo a estos resultados, las vacas con DPEA hacia afuera presentaron un DPE B levemente más ancho en comparación a aquellas con DPEA hacia abajo y hacia adentro, sin diferenciarse de las vacas con DPEA NC. El DPE B de las vacas con DPEA NC fue un poco más ancho comparado con las vacas con DPEA hacia adentro, pero no se diferenció estadísticamente respecto a las vacas con DPEA hacia abajo.

Cuadro 41. Diámetro en la base del pezón (cm) según la dirección de los pezones anteriores (DPEA), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

DPEA	N	Media $\pm$ E.E.
Adentro	187	2,86 $\pm$ 0,03a
Abajo	1.160	2,89 $\pm$ 0,01ab
No Clasificable (NC)	350	2,95 $\pm$ 0,02bc
Afuera	301	2,98 $\pm$ 0,02c

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

No se encontraron estudios sobre la relación entre DPE B y DPEA, con excepción del trabajo de Higgins *et al.* (1980). Estos autores evaluaron 402 vacas Holstein, comprobando que el diámetro proximal de los pezones anteriores fue significativamente mayor en los pezones que no se disponen verticalmente (hacia adentro y hacia afuera), comparados con los pezones dirigidos hacia abajo ( $P < 0,01$ ). Ello no se vería corroborado en el presente estudio por los resultados obtenidos con la totalidad de las vacas, ni por el análisis realizado exclusivamente en vacas Holstein, ya que éste no mostró diferencias entre los promedios de DPE B de las categorías de DPEA hacia abajo, y hacia adentro y hacia afuera; determinándose un promedio significativamente mayor para la categoría DPEA NC, respecto a la DPEA hacia abajo: 2,93a; 2,98ab y 3,00b; respectivamente ( $P = 0,0090$ ).

### **5.6.3. Factores que afectan el diámetro en la mitad del pezón**

Al igual que para el DPE B, el modelo de análisis de los factores que afectan el DPE 1/2 utilizando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1), fue altamente significativo ( $P < 0,0001$ ), obteniéndose en este caso un  $r^2$  de 0,26. Todos los factores incluidos en el modelo afectaron significativamente esta variable, con el mismo nivel de significancia ( $P < 0,0001$ ).

El modelo de análisis del DPE 1/2 que consideró la vaca como unidad de estudio (Modelo 2), también fue significativo ( $P < 0,0001$ ), obteniéndose un coeficiente de determinación un poco más elevado ( $r^2 = 0,35$ ), en comparación al determinado al analizar el DPE B mediante el Modelo 2 ( $r^2 = 0,28$ ). El DPE 1/2 fue afectado por los siguientes factores, con sus correspondientes niveles de significancia: GEN, FPE, SP, NOP y REG ( $P < 0,0001$ ); FPU ( $P = 0,0004$ ) y DEL ( $P = 0,0154$ ). No se encontró un efecto significativo del factor DPEA sobre el DPE 1/2, aunque el nivel de significancia se acercó al 5% ( $P = 0,0573$ ).

### 5.6.3.1. Rebaño

De acuerdo al Modelo 1, el DPE 1/2 se vio afectado significativamente por el factor rebaño ( $P < 0,0001$ ). Este factor representaría un 27% de la variación del DPE 1/2 explicada por dicho modelo, ocupando el segundo lugar en cuanto a importancia entre los factores estudiados.

En consecuencia, el factor REB constituiría una fuente de variación más importante del DPE 1/2, en comparación a lo observado para la LPE y el DPE B.

### 5.6.3.2. Genotipo

Los dos modelos de análisis mostraron un efecto significativo del GEN sobre el DPE 1/2, exhibiendo el mismo nivel de significancia ( $P < 0,0001$ ). Al igual que para el DPE B, dicho factor constituiría la principal fuente de variación del DPE 1/2, dado que representaría un 33 y 37% de la variación del DPE 1/2 explicada por los Modelos 1 y 2, respectivamente.

El primer tipo de análisis (Modelo 1), mostró el siguiente ordenamiento de los GEN para los promedios de DPE 1/2 (cm), de menor a mayor: Jc (2,40a), FR (2,61b), FRxRRL (2,67c), H (2,68c) y FN (2,87d); observándose diferencias significativas entre todos los genotipos, excepto al comparar las cruzas FRxRRL y la raza H (Cuadro 42).

Cuadro 42. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según el genotipo (GEN), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1)

GEN	N	Media $\pm$ E.E.
Jersey y Cruzas con Jersey (Jc)	1.574	2,40 $\pm$ 0,01a
Frisón Rojo (FR)	1.224	2,61 $\pm$ 0,01b
Frisón Rojo x Razas Rojas Lecheras (FRxRRL)	704	2,67 $\pm$ 0,02c
Holstein Friesian (H)	5.978	2,68 $\pm$ 0,01c
Frisón Negro (FN)	44	2,87 $\pm$ 0,05d

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

Al analizar los resultados con el Modelo 2 (Cuadro 43), se obtuvieron los siguientes promedios de DPE 1/2 (cm) para los genotipos Jc, FR, FRxRRL, H y FN: 2,37a; 2,48b; 2,59c; 2,66cd y 2,70d, respectivamente. El Modelo 2 mostraría resultados similares a los del Modelo 1, en cuanto al ordenamiento de los genotipos y diferencias en el DPE 1/2, aunque no detectó diferencias significativas entre los genotipos H y FN.

Cuadro 43. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según el genotipo (GEN), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

GEN	N	Media $\pm$ E.E.
Jersey y Cruzas con Jersey (Jc)	380	2,37 $\pm$ 0,01a
Frisón Rojo (FR)	141	2,48 $\pm$ 0,02b
Frisón Rojo x Razas Rojas Lecheras (FRxRRL)	108	2,59 $\pm$ 0,02c
Holstein Friesian (H)	1.361	2,66 $\pm$ 0,01cd
Frisón Negro (FN)	8	2,70 $\pm$ 0,09d

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

Considerados conjuntamente, los resultados obtenidos con los Modelos 1 y 2 para el DPE B y DPE 1/2, mostrarían un efecto similar de los genotipos Jc y FN sobre ambas variables. En el análisis mediante el Modelo 1, el DPE B del genotipo H resultó significativamente menor en comparación a la craza FRxRRL, pero no respecto a la raza FR; mientras que el mismo modelo arrojó un DPE 1/2 significativamente mayor para la raza H respecto a la FR, pero no en relación a la craza FRxRRL. De acuerdo al Modelo 2, no habrían diferencias en el DPE B de los genotipos H, FR y FRxRRL; en tanto que el DPE 1/2 de la raza H superaría al de la FR, pero no al DPE 1/2 de la craza FRxRRL (Cuadros 30, 31, 42 y 43).

Por otra parte, los resultados denotarían una relación más evidente del factor GEN con el diámetro del pezón que con su longitud. Así, el GEN representaría el 30 y 38% de variación del DPE B explicada por los Modelos 1 y 2, respectivamente; contribuyendo en un 33 y 37% a la variación del DPE 1/2 explicada por los Modelos 1 y 2, respectivamente.

En el caso de la LPE, el GEN representaría sólo el 3 y 7 % de la variación explicada por los Modelos 1 y 2, respectivamente. De los resultados obtenidos con los Modelos 1 y 2, (Cuadros 30 y 31), se desprende que el GEN con mayor DPE B superó en un 22 y 18% al GEN con menor DPE B, respectivamente; observándose una superioridad de 20 y 14%, al

comparar los GEN con mayor y menor DPE 1/2 (Cuadros 42 y 43). En cambio, el GEN de mayor LPE superó sólo en 11 y 10% al de menor LPE, de acuerdo a los resultados obtenidos con los Modelos 1 y 2, respectivamente (Cuadros 18 y 19).

Aun cuando existen más antecedentes bibliográficos referentes a DPE 1/2 que a DPE B, no se encontraron trabajos donde se haya analizado el DPE 1/2 según la raza o GEN de las vacas. En la revisión de literatura de Zwertvaegher (2012), se citan algunas investigaciones donde se informan promedios de DPE 1/2 para distintas razas, incluyendo varias no consideradas en el presente estudio, pero dentro de esta revisión no se encontró ningún trabajo que haya analizado simultáneamente el DPE 1/2 de las razas evaluadas en el presente estudio.

A modo de resumen, y considerando sólo los resultados obtenidos mediante el Modelo 2, podría señalarse que en lo referente a las variables morfológicas cuantitativas de los pezones, las mayores diferencias estadísticas entre GEN se observaron para el DPE 1/2; siendo éstas menos evidentes en el caso del DPE B (Cuadros 31 y 43). En lo referente a LPE, se encontraron diferencias sólo entre los GEN Jc y FRxRRL, y entre el FN respecto a los GEN Jc y FR (Cuadro 19).

#### 5.6.3.3. Posición de los pezones

La posición de los pezones afectó significativamente el DPE 1/2 ( $P < 0,0001$ ), pero en menor medida que la evidenciada para las otras variables morfológicas cuantitativas, puesto que contribuiría sólo en un 8% a la variación de la característica explicada por el Modelo 1. En cambio, en el caso de la LPE y el DPE B, el factor POP representaría respectivamente un 68 y 22% de la variación explicada por el mismo modelo.

Los promedios de DPE 1/2 (cm) de los pezones anteriores y posteriores fueron 2,69b y 2,58a; respectivamente (Cuadro 44). Aunque significativa ( $P < 0,0001$ ), la diferencia entre ambos promedios alcanzó una magnitud de 0,11 cm; que proporcionalmente (4%), indicaría

un efecto menos evidente de la POP sobre el DPE 1/2, comparado con el observado para el DPE B (Cuadro 32).

Cuadro 44. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según la posición de los pezones (POP), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1)

POP	N	Media $\pm$ E.E.
Posterior	4.761	2,58 $\pm$ 0,01a
Anterior	4.763	2,69 $\pm$ 0,01b

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

En general, estos resultados serían compatibles con lo establecido en la literatura y coincidirían con los de algunas investigaciones, donde se ha demostrado un efecto estadísticamente significativo y de magnitud moderada de la POP sobre el DPE 1/2.

Análogamente a lo observado en el presente estudio, en el estudio transversal y longitudinal de Zwertvaegher *et al.* (2012), al evaluar el diámetro del pezón en el 50% de su longitud, se demostró que los pezones anteriores de vacas Holstein fueron significativamente más anchos que los pezones posteriores; alcanzando las medias de mínimos cuadrados a 2,59 y 2,58 cm ( $P = 0,02$ ), y 2,76 y 2,71 cm ( $P < 0,001$ ), respectivamente. De los resultados del estudio transversal y longitudinal se desprende que, aunque significativas, las diferencias de diámetro en la mitad del pezón entre pezones anteriores y posteriores fueron mínimas.

Revisando los antecedentes bibliográficos sobre el tema, Zwertvaegher (2012), señala que las investigaciones previas generalmente han demostrado una mayor longitud para los pezones anteriores respecto a los posteriores, pero no informan diferencias en el diámetro o éstas son de pequeña magnitud, tanto en vacas Holstein como en animales de otras razas, atribuyendo en parte la variabilidad de resultados entre estudios a diferencias en las técnicas de medición del diámetro del pezón.

En un trabajo que incluyó vacas raza Rojo Noruego de primera lactancia, Bakken (1981), midió el diámetro en la parte media alta del pezón, determinando promedios de 2,17 y 2,14 cm para los pezones anteriores y posteriores, respectivamente; resultados que denotarían escasa o ninguna diferencia en el diámetro de los pezones según su posición. En

contraposición, Weiss *et al.* (2004), evaluando el diámetro a 25 mm del ápice del pezón en vacas Brown Swiss, comprobaron que los pezones posteriores fueron levemente más anchos que los anteriores (2,8 y 2,7 cm, respectivamente), verificando diferencias estadísticamente significativas solo al comparar los pezones posteriores con el pezón anterior derecho ( $P < 0,05$ ), siendo las diferencias entre promedios mínimas y menos evidentes que las encontradas para la longitud de los pezones. Por su parte, Higgins *et al.* (1980), basados en los resultados obtenidos con 402 vacas Holstein, concluyen que no existen diferencias importantes entre el diámetro medio de los pezones anteriores y posteriores.

#### 5.6.3.4. Forma del pezón

La FPE afectó significativamente el DPE 1/2 ( $P < 0,0001$ ), contribuyendo en un 23% a la variación del DPE 1/2 explicada por el Modelo 1. De acuerdo a ello, dicho factor ocuparía el tercer lugar en cuanto a importancia como fuente de variación del DPE 1/2.

Los resultados del Modelo 1 mostraron que los pezones en forma cilíndrica tuvieron un promedio significativamente menor de DPE 1/2 (cm), obteniéndose un valor similar para los pezones en forma de pera y cono: 2,54a; 2,69b y 2,70b, respectivamente (Cuadro 45).

Cuadro 45. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según la forma del pezón (FPE), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1)

FPE	N	Media $\pm$ E.E.
Cilindro	5.997	2,54 $\pm$ 0,01a
Pera	2.679	2,69 $\pm$ 0,01b
Cono	848	2,70 $\pm$ 0,01b

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

El Modelo 2, donde además de las vacas con las tres categorías de FPE, se analizó las vacas con pezones de distintas formas, las cuales integraron la categoría de FPE No Clasificable (NC), también demostró un efecto significativo de la FPE sobre el DPE 1/2 ( $P < 0,0001$ ). Análogamente a lo observado con el Modelo 1, la FPE fue uno de los factores que en mayor medida contribuiría a explicar la variación del DPE 1/2 en el Modelo 2 (23%),

ocupando en este caso el segundo lugar en importancia como fuente de variación de esta característica.

Los promedios de DPE 1/2 (cm) de las vacas con pezones en forma de cilindro, pera y cono, mostraron un ordenamiento distinto al obtenido mediante el Modelo 1: 2,49a; 2,74d y 2,68c, respectivamente; mientras que el DPE 1/2 en las vacas con FPE NC alcanzó un promedio de 2,62b (Cuadro 46). En consecuencia, el Modelo 2 indicaría que la diferencia máxima entre dichos promedios alcanza a 0,25 cm y el siguiente ordenamiento del DPE 1/2 de las vacas según su FPE, de menor a mayor, siendo todas las diferencias estadísticamente significativas: cilindro, NC, cono y pera.

Cuadro 46. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según la forma del pezón (FPE), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

FPE	N	Media ± E.E.
Cilindro	1.155	2,49 ± 0,01a
No Clasificable (NC)	453	2,62 ± 0,01b
Cono	88	2,68 ± 0,03c
Pera	302	2,74 ± 0,01d

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

Además de las diferencias ya establecidas en los resultados obtenidos para el DPE 1/2 según la FPE, cabe agregar que como era de esperar, en general, los promedios de DPE 1/2 determinados con el Modelo 2 tendieron a ser un poco menores que los obtenidos con el Modelo 1, pero las diferencias de DPE 1/2 entre las distintas formas de pezón fueron algo más evidentes.

A modo de resumen podría señalarse que de acuerdo al Modelo 1, considerando el DPE B, los pezones más angostos corresponderían a los pezones en forma de cilindro y los más anchos a los en forma de cono, estableciéndose un valor intermedio para los pezones en forma de pera (Cuadro 33); mientras que al tomar en cuenta el DPE 1/2, no habrían diferencias entre las dos últimas formas de pezones, siendo siempre los pezones más angostos aquellos con forma de cilindro (Cuadro 45). El Modelo 2 mostró el siguiente ordenamiento, de menor a mayor, para el DPE B: cilindro, NC, pera y cono; siendo las

diferencias entre todas las FPE estadísticamente significativas (Cuadro 34). De acuerdo al mismo modelo, todas las diferencias en el DPE 1/2 entre las distintas FPE fueron estadísticamente significativas, pero el ordenamiento de menor a mayor experimentó un cambio en las categorías de mayor DPE 1/2: cilindro, NC, cono y pera (Cuadro 46).

En vacas Holstein, Higgins *et al.* (1980), determinaron un menor diámetro tanto proximal como medial para los pezones cilíndricos, en comparación a los con forma de embudo (cono) y botella (pera); resultados que serían similares a los obtenidos en el presente estudio con el Modelo 1 y 2, los cuales muestran que el menor DPE 1/2 correspondió a la FPE cilíndrica; lo que también se evidenció para el DPE B. Adicionalmente, Higgins *et al.* (1980), informan que las diferencias entre pezones con forma de embudo (cono) y botella (pera), en los diámetros proximal y medial, fueron relativamente pequeñas, siendo los en forma de botella (pera) algo más anchos que los pezones en forma de embudo (cono), para ambas mediciones del diámetro del pezón. Estos últimos resultados coincidirían parcialmente con los del presente estudio, ya que los resultados obtenidos para el DPE 1/2 con el Modelo 1, no muestran diferencias significativas entre las FPE cono y pera: mientras que de acuerdo a los resultados del Modelo 2, el DPE 1/2 fue significativamente mayor para la forma de pera respecto a la de cono (Cuadros 45 y 46). En cambio, no concordarían con los obtenidos para el DPE B, ya que tanto con el Modelo 1 como el 2, se comprobó promedios significativamente mayores para la FPE cono comparada con la de pera (Cuadros 33 y 34).

Bakken (1981), determinó en vacas Rojo Noruego una correlación negativa y significativa ( $r = -0,20$ ;  $P < 0,001$ ), entre la forma del pezón y el diámetro (medido en la parte media alta del pezón), que denotaría mayores diámetros para los pezones con forma de embudo (cono) y semiembudo (semicono), y menores diámetros para los pezones en forma de cilindro. Análogamente, en un estudio con animales de la misma raza, Binde y Bakke (1984), comprobaron promedios significativamente mayores para el DPE 1/2 en los pezones con forma de embudo (cono), comparados con los con forma de cilindro ( $P < 0,05$ ): 2,27 y 2,15 cm (primer examen), y 2,33 y 2,26 cm (segundo examen). Los resultados del presente

estudio (Modelos 1 y 2), también muestran promedios de DPE 1/2 significativamente menores para los pezones cilíndricos, comparados con los con forma de cono.

#### 5.6.3.5. Forma de la punta del pezón

La FPU también afectó significativamente el DPE 1/2 ( $P < 0,0001$ ), contribuyendo en un 8% a la variación del DPE 1/2 explicada por el Modelo 1.

Los resultados obtenidos mediante este modelo indican que el promedio más bajo de DPE 1/2 (cm), correspondió a los pezones con FPU plana, seguidos de los pezones con FPU redondeada y puntiaguda, los cuales no se diferenciaron estadísticamente en lo referente a esta característica (Cuadro 47): 2,59a; 2,64b y 2,65b, respectivamente; determinándose un promedio más elevado para los pezones con FPU NC (2,68c).

Cuadro 47. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según la forma de la punta del pezón (FPU), considerando el pezón como unidad de estudio (Modelo 1)

FPU	N	Media $\pm$ E.E.
Plana	3.874	2,59 $\pm$ 0,01a
Redondeada	3.065	2,64 $\pm$ 0,01b
Puntiaguda	1.156	2,65 $\pm$ 0,01b
No Clasificable (NC)	1.429	2,68 $\pm$ 0,01c

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

En el Modelo 2, donde además de las vacas con las tres categorías de FPU, se incluyó la categoría de vacas con FPU NC, también se observó un efecto significativo de la FPU sobre el DPE 1/2 ( $P = 0,0004$ ). Comparado con el Modelo 1, la FPU contribuiría aún en menor medida a la variación del DPE 1/2 explicada por el Modelo 2 (2%).

Los resultados correspondientes al DPE 1/2 (cm) de las vacas según su FPU (Cuadro 48), también mostraron un promedio significativamente más bajo para la FPU plana (2,54a) y un ordenamiento de las FPU similar al obtenido mediante el Modelo 1, aunque las vacas con FPU NC (2,61b), no se diferenciaron estadísticamente respecto a las vacas con FPU redondeada (2,59b) y puntiaguda (2,63b).

Cuadro 48. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según la forma de la punta del pezón (FPU), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

FPU	N	Media $\pm$ E.E.
Plana	554	2,54 $\pm$ 0,01a
Redondeada	418	2,59 $\pm$ 0,01b
No Clasificable (NC)	854	2,61 $\pm$ 0,01b
Puntiaguda	172	2,63 $\pm$ 0,02b

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

De lo expuesto, se desprende que la FPU constituiría una fuente poco importante de variación del DPE 1/2, particularmente cuando se utiliza la vaca como unidad de estudio (Modelo 2); resultado observado también al analizar el DPE B. Al igual que para la LPE y el DPE B, los promedios de DPE 1/2 tendieron a ser menores en los resultados obtenidos con el Modelo 2, y análogamente a las características recién mencionadas, las diferencias máximas entre los promedios de DPE 1/2 determinados mediante este modelo y el Modelo 1 fueron similares; aunque alcanzaron una magnitud muy baja (aproximadamente 0,1 cm), similar a la observada para las diferencias máximas en el DPE B según la FPU (Cuadros 35 y 36).

Al igual que lo señalado para el DPE B, no se encontraron antecedentes bibliográficos referentes a una eventual relación entre la FPU y el DPE 1/2.

A diferencia de lo descrito para la LPE y el DPE B, no se observó una asociación aparente de la FPU con la FPE (Cuadro 54), que pudiera explicar el promedio levemente menor de DPE 1/2 determinado en las vacas con FPU plana.

A continuación se presentan y discuten los resultados para los factores REG, SP, NOP, DEL y DPEA, obtenidos con el modelo que incluyó la vaca como unidad de estudio (Modelo 2).

### 5.6.3.6. Región

Aunque este factor afectó significativamente el DPE 1/2 ( $P < 0,0001$ ), su efecto sobre dicha característica no sería muy importante en términos prácticos, puesto que representaría apenas un 4% de la variación del DPE 1/2 explicada por el Modelo 2.

Tomando como base de comparación el promedio correspondiente a la X Región, no habrían diferencias estadísticamente significativas en el DPE 1/2 respecto al promedio determinado para la XIV Región. El promedio de la X Región (2,51 cm), fue significativamente menor en comparación a los promedios de DPE 1/2 de las vacas de la Regiones Metropolitana, IV, V, VIII y IX. El promedio más elevado de DPE 1/2 correspondió a la VIII Región (2,77 cm), el cual resultó significativamente mayor en comparación a los de las demás regiones, excepto la IX Región (Cuadro 49).

Cuadro 49. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según la región (REG), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

Región	N	Media $\pm$ E.E.
X	785	2,51 $\pm$ 0,01a
XIV	575	2,52 $\pm$ 0,01a
IV	80	2,60 $\pm$ 0,03b
V	79	2,62 $\pm$ 0,03bc
RM	158	2,67 $\pm$ 0,02cd
IX	88	2,74 $\pm$ 0,03de
VIII	233	2,77 $\pm$ 0,02e

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

Análogamente a lo descrito para el DPE B y aunque se detectaron más diferencias significativas entre regiones, las diferencias regionales en el DPE 1/2 serían en general de baja magnitud, alcanzando un máximo de 0,26 cm y tampoco estarían relacionadas aparentemente con diferencias en la edad ni el genotipo de los rebaños de estas REG, pudiendo influir en el caso de IX Región, el bajo número de rebaños y vacas evaluadas.

### 5.6.3.7. Sistema productivo

El factor SP ejerció un efecto significativo sobre el DPE 1/2 ( $P < 0,0001$ ), contribuyendo en un 10% a la variación de la característica explicada por el Modelo 2.

Los promedios de DPE 1/2 (cm), en orden creciente de magnitud, alcanzaron a 2,54a; 2,65b y 2,83c; para las vacas manejadas en sistemas de producción basados en el pastoreo, confinamiento y mixto, respectivamente (Cuadro 50).

Cuadro 50. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según el sistema productivo (SP), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

SP	N	Media $\pm$ E.E.
Pastoreo	1.448	2,54 $\pm$ 0,01a
Confinamiento	406	2,65 $\pm$ 0,01b
Mixto	144	2,83 $\pm$ 0,02c

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

Al igual que para el DPE B, el promedio más elevado de DPE 1/2 correspondió al sistema mixto de producción, pero el hecho que este sistema esté representado por un solo rebaño, limita su comparación con los otros sistemas productivos. La tendencia de las vacas en confinamiento a presentar un mayor DPE B respecto a las vacas manejadas a pastoreo (Cuadro 38), se vería corroborada estadísticamente al considerar el DPE 1/2 (Cuadro 50).

Los resultados obtenidos para el DPE 1/2 según sistema productivo, no serían atribuibles a diferencias en la edad de las vacas, ya que el promedio de NOP de las vacas manejadas en confinamiento (1,99), resultó menor que el de las vacas a pastoreo (2,95), por lo que se habría esperado un menor DPE 1/2 para el sistema en confinamiento. La explicación más probable del menor DPE 1/2 obtenido para el sistema a pastoreo, estaría dada por el hecho que una proporción importante de las vacas de estos rebaños estaba integrada por vacas Jc, FR y FRxRRL (48%), las cuales según los resultados de este mismo estudio, mostraron los promedios más bajos de DPE 1/2 entre todos los genotipos evaluados (Cuadro 43). Este resultado sería distinto al obtenido para el DPE B, característica para la cual no se observaron diferencias significativas entre los SP en confinamiento y los basados en

pastoreo (Cuadro 38), lo que podría ser atribuible a que hubo menos diferencias entre genotipos en lo referente a DPE B que a DPE 1/2, particularmente considerando los resultados del Modelo 2 de análisis estadístico (Cuadro 31).

#### 5.6.3.8. Número ordinal de parto

El NOP afectó significativamente el DPE 1/2 ( $P < 0,0001$ ), ocupando el segundo lugar en cuanto a importancia después del factor GEN dado que, al igual que la FPE, contribuiría en un 23% a la variación del DPE 1/2 explicada por el Modelo 2.

El DPE 1/2 (cm) de las vacas de NOP 1, 2 y  $\geq 3$ , alcanzó promedios de 2,49a; 2,57b y 2,69c, respectivamente (Cuadro 51). Ello significaría que el DPE 1/2 aumenta en promedio 0,08 cm entre los NOP 1 y 2, incrementándose 0,12 cm entre los NOP 2 y  $\geq 3$ . La diferencia entre los promedios de los NOP 1 y  $\geq 3$  fue de 0,2 cm; lo que representa un incremento del 8% en el DPE 1/2 de las vacas de mayor edad. Estos resultados se asemejan a los obtenidos para el DPE B y denotan un incremento moderado, pero estadísticamente significativo, del DPE 1/2 con el aumento del NOP.

Cuadro 51. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según el número ordinal de parto (NOP), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

NOP	N	Media $\pm$ E.E.
1	583	2,49 $\pm$ 0,01a
2	500	2,57 $\pm$ 0,01b
$\geq 3$	915	2,69 $\pm$ 0,01c

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

Por otra parte, los resultados son en general compatibles con lo establecido en la literatura, aunque debe tenerse presente lo señalado por Zwervaegher (2012), en el sentido que en los estudios que informan un aumento en los diámetro del pezón a medida que se incrementa el NOP, éste no siempre ha sido estadísticamente significativo.

Al igual que lo observado en el presente estudio, Binde y Bakke (1984), comprobaron que en vacas Rojo Noruego, los animales de primera lactancia tenían pezones con un DPE 1/2 significativamente menor que el de las vacas de mayor edad ( $P < 0,01$ ). Análogamente, utilizando tres categorías de NOP en vacas Holstein, en otros estudios se ha demostrado también un aumento significativo del diámetro de la mitad del pezón, con el incremento del NOP (Zwertvaegher *et al.*, 2011; 2012). Así, Zwertvaegher *et al.* (2012) verificaron un efecto significativo del NOP sobre el diámetro del pezón (medido al 50% de la LPE), determinando las siguientes medias de mínimos cuadrados, en vacas de NOP 1, 2 y  $\geq 3$ : 2,5; 2,6 y 2,7 cm (estudio transversal,  $P < 0,001$ ), y 2,6; 2,8 y 2,9 cm (estudio longitudinal,  $P < 0,001$ ).

#### 5.6.3.9. Días en lactancia

El factor DEL también afectó significativamente el DPE 1/2 ( $P = 0,0154$ ), pero su efecto en términos prácticos sería irrelevante, puesto que representaría sólo un 1% de la variación explicada por el Modelo 2.

Los promedios correspondientes a  $\leq 100$ , 101 – 200 y  $> 200$  días de lactancia, denotan un incremento significativo del DPE 1/2 (cm) entre el primer y segundo periodo de lactancia, determinándose una disminución significativa entre el segundo y tercer periodo de la lactancia; sin observarse diferencias significativas entre los DPE 1/2 correspondientes al primer y último periodo de lactancia: 2,58a; 2,63b y 2,57a, respectivamente (Cuadro 52). Aunque estadísticamente significativas, las diferencias en el DPE 1/2 entre las etapas de lactancia analizadas son muy pequeñas, alcanzando una magnitud del orden de 0,05 cm.

Cuadro 52. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según los días en lactancia (DEL), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

DEL	N	Media $\pm$ E.E.
$\leq 100$	582	2,58 $\pm$ 0,01a
101 - 200	427	2,63 $\pm$ 0,01b
$> 200$	989	2,57 $\pm$ 0,01a

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ )

En contraposición al presente estudio, Zwertvaegher *et al.* (2011), comprobaron descensos significativos en el diámetro proximal y medial de los pezones con el avance de la lactancia ( $P < 0,001$ ), lo cual según los mismos autores no estaría dentro de lo esperado de acuerdo a lo establecido en la literatura; aunque algunos autores han observado que el diámetro de los pezones disminuye a medida que progresa la lactancia (Seykora y McDaniel, 1986).

Por otra parte, los resultados podrían considerarse compatibles con los de Zwertvaegher *et al.* (2012), quienes demostraron un efecto significativo de los días de lactancia sobre el diámetro medio del pezón, tanto en el estudio transversal ( $P < 0,001$ ) como en el estudio longitudinal ( $P < 0,001$ ). En ambos, especialmente en el estudio transversal, las medias de mínimos cuadrados correspondientes a seis etapas de la lactancia (0-30, 31-60, 61-120, 121-180, 181-240 y  $> 240$  días), también indicarían cambios leves en el DPE 1/2 a medida que transcurre la lactancia: 2,7; 2,6; 2,6; 2,6; 2,6 y 2,5 cm (estudio transversal) y 2,9; 2,8; 2,7; 2,7; 2,7 y 2,7 cm (estudio longitudinal).

Al analizar sólo los resultados de DPE 1/2 obtenidos para las vacas Holstein incluidas en el presente estudio, basado en las mismas categorías de DEL utilizadas por Zwertvaegher *et al.* (2012), también se determinó un efecto significativo del factor DEL ( $P = 0,0192$ ), obteniéndose los siguientes promedios (cm): 2,63ab; 2,55a; 2,65b; 2,66b; 2,63ab y 2,62ab, respectivamente. Sin embargo, los resultados del presente estudio reflejarían un patrón de variación del DPE 1/2 caracterizado por una leve tendencia de incremento de sus valores en la lactancia media; mientras que Zwertvaegher *et al.* (2012), describen una tendencia de disminución tanto del diámetro proximal como medio durante la lactancia temprana, para posteriormente disminuir levemente o estabilizarse.

En resumen, los resultados encontrados para el efecto de los DEL sobre el tamaño del pezón (Cuadros 28, 40 y 52), demostrarían que dicho factor no afecta el DPE B, pero ejerce un efecto estadísticamente significativo tanto sobre el DPE 1/2 como la LPE; aunque su efecto sería muy poco relevante en comparación al de otros factores que afectan la LPE y al DPE 1/2. Los resultados del presente estudio, reflejarían un patrón de variación de la LPE y del DPE 1/2 durante el transcurso de la lactancia que no coincidiría con el descrito en los

estudios citados previamente. Al respecto, Zwervaegher *et al.* (2012), señalan que los resultados de las investigaciones del efecto de la etapa de lactancia sobre los diámetros de los pezones pueden ser contradictorios, lo que sería atribuible a variaciones entre estudios en lo referente a clasificaciones de las etapas de lactancia, pudiendo probablemente haber otras causas que fueron mencionadas al analizar el efecto del factor DEL sobre la LPE.

#### 5.6.3.10. Dirección de los pezones anteriores

De las variables incluidas en el Modelo 2, la DPEA fue la única que no afectó significativamente el DPE 1/2 ( $P = 0,0573$ ). Este resultado es distinto del obtenido para el DPE B, el cuál fue afectado significativamente por la DPEA ( $P = 0,0006$ ); aunque, como se señaló, dicho factor sería una fuente de variación poco importante del DPE B.

En el cuadro 53 se presentan los promedios de DPE 1/2 para las distintas categorías de DPEA, los cuales no sólo fueron similares entre las vacas con pezones hacia abajo, afuera y adentro, sino también al incluir en la comparación aquellas con DPEA no clasificable (NC).

Cuadro 53. Diámetro en la mitad del pezón (cm) según la dirección de los pezones anteriores (DPEA), considerando la vaca como unidad de estudio (Modelo 2)

DPEA	N	Media $\pm$ E.E.
Abajo	1.160	2,57 $\pm$ 0,01a
Adentro	187	2,58 $\pm$ 0,02a
Afuera	301	2,60 $\pm$ 0,01a
No Clasificable (NC)	350	2,62 $\pm$ 0,01a

Letras iguales indican ausencia de diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0,05$ )

Al igual que para el DPE B, no se encontraron antecedentes bibliográficos sobre una eventual relación entre DPE 1/2 y DPEA, con excepción del trabajo de Higgins *et al.* (1980). Estos autores evaluaron 402 vacas Holstein, verificando que el diámetro medio de los pezones anteriores, fue significativamente mayor en los pezones que no se disponen verticalmente (hacia adentro y hacia afuera), respecto a aquellos dirigidos hacia abajo ( $P < 0,01$ ). Este resultado no se vería corroborado por los resultados obtenidos con la totalidad de las vacas evaluadas (Cuadro 53), ni por el análisis realizado exclusivamente en vacas Holstein, puesto que éste no demostró diferencias entre los promedios de DPE 1/2, al

comparar las categorías de DPEA hacia abajo, y hacia adentro y hacia afuera, determinándose un promedio significativamente mayor para la categoría DPEA NC respecto a la categoría hacia abajo: 2,61a; 2,64ab y 2,67b; respectivamente ( $P = 0,0098$ ).

## **5.7. Asociaciones entre las Variables Morfológicas Cualitativas**

Para estudiar las asociaciones que pudieran existir entre las variables morfológicas cualitativas, se utilizaron los resultados obtenidos para la forma del pezón, forma de la punta y dirección de los pezones anteriores, considerando la vaca como unidad de análisis.

### **5.7.1. Asociación entre la forma de la punta del pezón y la forma del pezón**

Al estudiar una posible relación entre la FPE y la FPU, se determinó una asociación estadísticamente significativa entre ambas características mediante la prueba de Chi Cuadrado ( $P < 0,0001$ ). Ello indicaría que la FPE afecta en alguna medida a la FPU. Este resultado sería contrapuesto al obtenido por Durán y Hebel (1974), quienes no observaron una relación aparente entre la FPE y la FPU. Bakken (1981), tampoco encontró una correlación significativa entre ambas variables; aunque debe tenerse presente que en su estudio, se emplearon escalas de puntajes de FPE y FPU que no serían consistentes con las categorías utilizadas en el presente estudio para ambas características.

Los resultados que aparecen en el cuadro 54, mostrarían diferencias notorias en la FPU de la FPE menos común (cono), en relación a las demás categorías de FPE, puesto que se caracterizan por presentar una frecuencia mucho más elevada de FPU puntiaguda, conjuntamente con frecuencias menores de FPU plana y, particularmente, de FPU redondeada. La comparación entre las categorías de FPE pera y cilindro, denota una mayor frecuencia de FPU plana para la primera forma de pezón, conjuntamente con frecuencias más bajas de FPU puntiagudas y, especialmente, de FPU redondeada.

Cuadro 54. Frecuencias de formas de punta del pezón (FPU), según la forma del pezón (FPE)

FPU	FPE							
	Cilindro		Cono		Pera		No Clasificable (NC)	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Plana	346	26,1	25	21,6	118	32,1	172	30,0
Puntiaguda	101	7,6	26	22,4	25	6,8	49	8,5
Redondeada	318	24,0	13	11,2	66	17,9	108	18,8
No Clasificable (NC)	559	42,2	52	44,8	159	43,2	245	42,7
Total	1.324	100,0	116	100,0	368	100,0	574	100,0

Chi Cuadrado = 49,43; P < 0,0001.

Con excepción de los trabajos ya citados (Durán y Hebel, 1974; Bakken, 1981), no se encontraron estudios que hayan analizado la asociación que podría existir entre las variables FPU y FPE.

### 5.7.2. Asociación entre la forma del pezón y la dirección de los pezones anteriores

Los resultados presentados en el cuadro 55, no muestran mayores diferencias en las distribuciones de frecuencias de FPE, entre los grupos de vacas con distintas DPEA. La prueba de Chi Cuadrado no mostró una asociación significativa entre las variables FPE y DPEA (P = 0,0622); resultado que indicaría que la FPE no se vería afectada por la DPEA.

No se encontraron antecedentes bibliográficos sobre una eventual asociación entre ambas características morfológicas de los pezones.

Cuadro 55. Frecuencias de formas del pezón (FPE), según la dirección de los pezones anteriores (DPEA)

FPE	DPEA							
	Abajo		Adentro		Afuera		No Clasificable (NC)	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Cilindro	800	58,4	122	55,0	180	49,2	222	52,4
Cono	65	4,7	8	3,6	25	6,8	18	4,2
Pera	197	22,5	33	26,6	63	26,8	75	25,7
No Clasificable (NC)	308	14,4	59	14,9	98	17,2	109	17,7
Total	1.370	100,0	222	100,0	366	100,0	424	100,0

Chi Cuadrado = 16,23; P = 0,0622.

### 5.7.3. Asociación entre la forma de la punta del pezón y la dirección de los pezones anteriores

De acuerdo a los resultados que aparecen en el cuadro 56, tampoco habría grandes diferencias en las frecuencias de formas de punta de pezón, entre las vacas incluidas en las cuatro categorías de dirección de los pezones anteriores. Ello se vio corroborado por la prueba de Chi Cuadrado, la cual no demostró una asociación significativa entre las variables FPU y DPEA ( $P = 0,4768$ ); resultado que indica que la FPU no se vería influenciada por la DPEA.

No se encontraron antecedentes bibliográficos sobre una eventual relación entre ambas características morfológicas de los pezones.

Cuadro 56. Frecuencias de formas de punta del pezón (FPU), según la dirección de los pezones anteriores (DPEA)

FPU	DPEA							
	Abajo		Adentro		Afuera		No Clasificable (NC)	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Plana	408	29,8	55	24,8	93	25,4	105	24,8
Puntiaguda	111	8,1	17	7,7	32	8,7	41	9,7
Redondeada	289	21,1	45	20,3	81	22,1	90	21,2
No Clasificable (NC)	562	41,0	105	47,3	160	43,7	188	44,3
Total	1.370	100,0	222	100,0	366	100,0	424	100,0

Chi Cuadrado = 8,58;  $P = 0,4768$ .

### 5.8. Asociaciones de las Variables Morfológicas Cualitativas con Otras Variables

A continuación se presentan los resultados obtenidos al estudiar las asociaciones de las variables FPE, FPU y DPEA, con las variables posición de los pezones, genotipo y número ordinal de parto, utilizando también la vaca como unidad de análisis, excepto en el caso de la posición de los pezones, donde se consideró el pezón como unidad de análisis.

### 5.8.1. Asociación entre la forma del pezón y la posición de los pezones

Los resultados de la prueba de Chi Cuadrado de Pearson, demostraron una asociación estadísticamente significativa entre ambas variables ( $P < 0,0001$ ); según la cual, comparados con los pezones anteriores, los pezones posteriores presentan menores frecuencias de pezones cilíndricos y cónicos, exhibiendo en cambio una frecuencia notoriamente más elevada de pezones en forma de pera (Cuadro 57).

Cuadro 57. Frecuencias de formas de pezón (FPE), según la posición de los pezones (POP)

FPE	POP			
	Anterior		Posterior	
	N	%	N	%
Cilindro	3.252	68,3	2.749	57,7
Cono	484	10,2	364	7,6
Pera	1.028	21,6	1.651	34,7
Total	4.764	100,0	4.764	100,0

Chi Cuadrado = 204,02;  $P < 0,0001$ .

La relación observada en el presente estudio entre la forma del pezón y su posición, podría ser compatible con los resultados de Hickman (1964), obtenidos en vacas Holstein y Ayrshire, a partir de los cuales se desprende que la forma del pezón se asociaría con la posición del pezón; observándose también que con respecto a los pezones anteriores, los pezones posteriores tenían una menor frecuencia de formas de cilindro y una mayor frecuencia de formas de pera. Sin embargo, en dicho trabajo, la frecuencia de pezones en forma de cono fue mayor en los pezones posteriores, lo que no coincide con el presente estudio.

Por otra parte, los resultados no concordarían con los obtenidos por Riera-Nieves *et al.* (2006), quienes analizando individualmente los cuatro pezones de vacas de tres genotipos distintos, concluyen que la FPE no fue influenciada por la localización de los pezones en la ubre. Tampoco coincidirían con lo observado en vacas Holstein por Higgins *et al.* (1980), cuyos resultados no indican grandes diferencias en las frecuencias de formas de pezón cilíndrica, cónica y de pera, según la posición de los pezones, las cuales alcanzaron respectivamente a 36, 52 y 12% (anteriores) y 33, 53 y 14% (posteriores).

### 5.8.2. Asociación entre la forma de la punta del pezón y la posición de los pezones

Al igual que para la FPE, la prueba de Chi Cuadrado de Pearson demostró una asociación estadísticamente significativa entre las variables POP y FPU ( $P = 0,0002$ ). Sin embargo, los resultados presentados en el cuadro 58, no muestran grandes diferencias en las frecuencias de FPU entre pezones anteriores y posteriores; tendiendo a ser levemente más frecuentes las puntas de pezones redondeadas en los pezones posteriores. La diferencia más aparente correspondería a la categoría FPU NC, cuya proporción alcanzó un valor más elevado en los pezones anteriores respecto a los posteriores.

Cuadro 58. Frecuencias de formas de punta de pezón (FPU), según la posición de los pezones (POP)

FPU	POP			
	Anterior		Posterior	
	N	%	N	%
Plana	1.911	40,1	1.963	41,2
Puntiaguda	591	12,4	565	11,9
Redondeada	1.476	31,0	1.589	33,4
No Clasificable (NC)	785	16,5	644	13,5
Total	4.763	100,0	4.761	100,0

Chi Cuadrado = 19,36;  $P = 0,0002$ .

### 5.8.3. Asociación entre la forma del pezón y el genotipo de las vacas

Se determinó una asociación estadísticamente significativa entre dichas variables ( $P < 0,0001$ ), la cual indicaría que la FPE se ve influenciada por la raza o genotipo de las vacas.

Comparado con el GEN H, el GEN Jc presentó una frecuencia similar de pezones cilíndricos, observándose frecuencias más bajas de vacas con pezones en forma de cono y pera, junto con una proporción mayor de vacas con FPE NC. De los genotipos en estudio, el Jc presentó la frecuencia más baja de FPE cónica. Por su parte, en relación al GEN H, el GEN FRxRRL exhibió una menor frecuencia de pezones cilíndricos, junto a frecuencias más elevadas de vacas con pezones en forma de cono, pera y FPE NC; siendo éste el GEN con la mayor frecuencia de vacas con FPE NC y la más baja con FPE cilíndrica. La comparación de la FPE de las vacas H y FR mostró menos diferencias, tendiendo a ser

menos frecuentes en este último GEN las FPE cilíndrica y de pera, pero más frecuentes las otras dos categorías de FPE. En el caso del GEN FN, ninguna vaca fue incorporada en la categoría de FPE NC, lo que explicaría que en dicho GEN se hayan alcanzado las frecuencias más altas para las demás categorías de FPE, a lo que probablemente contribuyó el reducido número de observaciones disponibles para esta raza (Cuadro 59).

Cuadro 59. Frecuencias de formas de pezón (FPE), según el genotipo de las vacas (GEN)

FPE	GEN*									
	FN		FR		FRxRRL		H		Jc	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Cilindro	8	72,7	168	54,9	69	39,2	854	57,1	225	57,1
Cono	1	9,1	23	7,5	15	8,5	66	4,4	11	2,8
Pera	2	18,2	39	12,7	33	18,8	245	16,4	49	12,4
No Clasificable (NC)	0	0,0	76	24,8	59	33,5	330	22,1	109	27,7
Total	11	100,0	306	100,0	176	100,0	1.495	100,0	394	100,0

\* FN, Frisón Negro; FR, Frisón Rojo; FRxRRL, Frisón Rojo x Razas Rojas Lecheras; H, Holstein Friesian; Jc, Jersey y Cruzas con Jersey.

Chi Cuadrado = 43,40; P < 0,0001.

Estos resultados serían consistentes con los de Riera-Nieves *et al.* (2006), en el sentido que dichos autores también comprobaron una asociación estadísticamente significativa entre la FPE y el GEN, estudiando vacas Holstein, Jersey y de raza Carora. En las vacas Holstein, la FPE más frecuente fue la cilíndrica, seguida de la forma de cono; mientras que en las Jersey la forma más común fue la de cono, seguida de la cilíndrica. Dichos resultados serían distintos a los obtenidos en el presente estudio, donde no se observó diferencias en las frecuencias de pezones cilíndricos entre vacas H y Jc, y las frecuencias de formas cónicas fueron muy bajas, particularmente en las vacas H y Jc.

#### 5.8.4. Asociación entre la forma de la punta del pezón y el genotipo de las vacas

Al igual que en el caso de la FPE, se encontró una asociación significativa entre las variables FPU y GEN (P < 0,0001), por lo que la FPU también se vería afectada por la raza o genotipo de las vacas. La situación observada en el presente estudio difiere de la informada por Riera-Nieves *et al.* (2006), quienes no determinaron una asociación

estadísticamente significativa entre la FPU y el genotipo de las vacas, estudiando animales de raza Holstein, Jersey y Carora.

Exceptuando el trabajo recién citado, no se encontraron estudios referentes al efecto que podría tener el genotipo de las vacas sobre la FPU.

Como se observa en el cuadro 60, comparadas con las vacas H, las vacas Jc se diferenciaron principalmente por presentar una mayor frecuencia de FPU plana, conjuntamente con frecuencias más bajas de FPU puntiaguda y redondeada. Las frecuencias más elevadas de FPU plana correspondieron a los genotipos FR y FRxRRL, diferenciándose ambos principalmente en la frecuencia de FPU puntiaguda, teniendo el último la mayor frecuencia de FPU puntiaguda entre todos los genotipos en estudio. No se observaron grandes diferencias entre genotipos en lo referente a las frecuencias de FPU redondeada, determinándose los valores más bajo y elevado en los genotipos FR y FN, respectivamente. Tampoco parecen haber grandes diferencias entre genotipos en las frecuencias de FPU NC, con excepción de las vacas FRxRRL, las cuales se caracterizarían por exhibir la frecuencia más baja para esta categoría de FPU.

Cuadro 60. Frecuencias de formas de punta de pezón (FPU), según el genotipo de las vacas (GEN)

FPU	GEN*									
	FN		FR		FRxRRL		H		Jc	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Plana	3	27,3	126	41,2	70	39,8	348	23,3	114	28,9
Puntiaguda	0	0,0	10	3,3	25	14,2	138	9,2	28	7,1
Redondeada	3	27,3	48	15,7	32	18,2	344	23,0	78	19,8
No Clasificable (NC)	5	45,5	122	39,9	49	27,8	665	44,5	174	44,2
Total	11	100,0	306	100,0	176	100,0	1.495	100,0	394	100,0

\* FN, Frisón Negro; FR, Frisón Rojo; FRxRRL, Frisón Rojo x Razas Rojas Lecheras; H, Holstein Friesian; Jc, Jersey y Cruzas con Jersey.  
Chi Cuadrado = 78,55; P < 0,0001.

### 5.8.5. Asociación entre dirección de los pezones anteriores y el genotipo de las vacas

Análogamente a lo observado para la FPE y la FPU, la prueba de Chi Cuadrado mostró una asociación significativa entre la variable DPEA y el GEN de las vacas ( $P < 0,0001$ ); resultado que reflejaría que la DPEA también está sujeta a efectos genéticos.

No se encontraron publicaciones con antecedentes acerca de la influencia del GEN sobre la DPEA. Sólo se ubicó un estudio realizado con vacas Holstein (Higgins *et al*, 1980), donde se informa que la frecuencia de pezones dispuestos perpendicularmente (DPEA hacia abajo), alcanzó un valor de 73%; el cual resultaría bastante más elevado que el 54,9% determinado para la misma raza en el presente estudio (Cuadro 61).

Cuadro 61. Frecuencias de dirección de los pezones anteriores (DPEA), según el genotipo de las vacas (GEN)

DPEA	GEN*									
	FN		FR		FRxRRL		H		Jc	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Abajo	8	72,7	167	54,6	112	63,6	821	54,9	262	66,5
Adentro	0	0,0	17	5,6	5	2,8	182	12,2	18	4,6
Afuera	1	9,1	66	21,6	34	19,3	214	14,2	51	12,9
No Clasificable (NC)	2	18,2	56	18,3	25	14,2	278	18,6	63	16,0
Total	11	100,0	306	100,0	176	100,0	1.495	100,0	394	100,0

\* FN, Frisón Negro; FR, Frisón Rojo; FRxRRL, Frisón Rojo x Razas Rojas Lecheras; H, Holstein Friesian; Jc, Jersey y Cruzas con Jersey.  
Chi Cuadrado = 60,44;  $P < 0,0001$ .

Los resultados presentados en el cuadro 61, indicarían que las vacas H y FR se caracterizan por presentar las menores frecuencias de DPEA hacia abajo; correspondiendo las frecuencias más altas en orden creciente de magnitud a las vacas FRxRRL, Jc y FN. La comparación entre los GEN con menores frecuencias de DPEA hacia abajo, mostraría para las vacas H, respecto a las FR, una frecuencia más elevada de DPEA hacia adentro y una frecuencia más baja de DPEA hacia afuera. En los demás genotipos, las frecuencias de vacas con DPEA hacia adentro tendieron a ser menores. El valor mínimo para las frecuencias de DPEA hacia afuera correspondió a las vacas FN, observándose los valores más altos en las vacas FRxRRL y FR. No habrían mayores diferencias entre genotipos en cuanto a frecuencias de DPEA NC.

### 5.8.6. Asociación entre la forma del pezón y el número ordinal de parto de las vacas

La prueba de Chi Cuadrado no demostró una asociación significativa entre las variables FPE y NOP ( $P = 0,1251$ ); observándose distribuciones de frecuencias similares de las categorías de FPE, en las vacas de NOP 1, 2 y  $\geq 3$  (Cuadro 62).

Este resultado estaría dentro de lo esperable, porque no habría razones para suponer que la forma del pezón cambiara durante el transcurso de la vida productiva de una vaca. Además, no se encontró ningún antecedente bibliográfico sobre una eventual asociación entre FPE y NOP o edad de las vacas.

Cuadro 62. Frecuencias de formas de pezón (FPE), según el número ordinal de parto de las vacas (NOP)

FPE	NOP					
	1		2		$\geq 3$	
	N	%	N	%	N	%
Cilindro	329	56,3	291	58,2	536	58,6
Cono	25	4,3	31	6,2	32	3,5
Pera	83	14,2	80	16,0	139	15,2
No Clasificable (NC)	147	25,2	98	19,6	208	22,7
Total	584	100,0	500	100,0	915	100,0

Chi Cuadrado = 9,99;  $P = 0,1251$ .

### 5.8.7. Asociación entre la forma de la punta del pezón y el número ordinal de parto de las vacas

La prueba de Chi Cuadrado demostró una asociación significativa entre las variables NOP y FPU ( $P = 0,0002$ ).

Los resultados presentados en el cuadro 63, no muestran grandes diferencias en la frecuencia de FPU NC y plana entre las distintas categorías de NOP. Sin embargo, asociado al incremento del NOP, se observa una disminución de la frecuencia de FPU puntiaguda, conjuntamente con un aumento de la frecuencia de FPU redondeada, particularmente en las vacas de NOP  $\geq 3$ .

Cuadro 63. Frecuencias de formas de punta del pezón (FPU), según el número ordinal de parto de las vacas (NOP)

FPU	NOP					
	1		2		≥ 3	
	N	%	N	%	N	%
Plana	162	27,7	142	28,4	250	27,3
Puntiaguda	71	12,2	48	9,6	53	5,8
Redondeada	110	18,8	88	17,6	220	24,0
No Clasificable (NC)	241	41,3	222	44,4	392	42,8
Total	584	100,0	500	100,0	915	100,0

Chi Cuadrado = 26,43; P = 0,0002.

Este último resultado no tiene una explicación clara, dado que no sería esperable que la FPU se modifique durante el transcurso de la vida productiva de una vaca. La única FPU que podría experimentar un cambio con el incremento del NOP sería la categoría FPU NC, porque dentro de ella se incluyeron vacas con pezones afectados por algún grado de hiperqueratosis; condición que según Neijenhuis *et al.* (2000) podría aumentar con el incremento del NOP, aunque sus propios resultados no muestran una relación clara entre NOP e hiperqueratosis. De hecho, en la revisión bibliográfica no se ubicó ningún estudio que informe acerca de una eventual asociación entre FPU y NOP.

Por otra parte, se ha señalado que los pezones puntiagudos se verían expuestos a daños del orificio del conducto, por lo que serían más susceptibles a mastitis (NMC, 1996), lo que podría contribuir a explicar el descenso en la frecuencia de vacas con pezones puntiagudos a medida que avanza el NOP (Cuadro 63), asociado a una mayor tasa de eliminación de vacas con esta FPU. Sin embargo, los resultados obtenidos en este mismo estudio, no demostrarían una relación entre RCS individual y FPU (Cuadro 66).

### 5.8.8. Asociación entre dirección de los pezones anteriores y el número ordinal de parto de las vacas

La prueba de Chi Cuadrado también demostró una asociación significativa entre las variables DPEA y NOP ( $P = 0,0109$ ), lo que podría indicar que la DPEA se ve afectada por el NOP o edad de la vaca.

No obstante lo anterior, los resultados presentados en el cuadro 64, no mostrarían un patrón definido de cambio en las distribuciones de frecuencias de la DPEA con el incremento del NOP, salvo una leve tendencia de aumento de la frecuencia de vacas con DPEA NC.

Cuadro 64. Frecuencias de dirección de los pezones anteriores (DPEA), según el número ordinal de parto de las vacas (NOP)

DPEA	NOP					
	1		2		$\geq 3$	
	N	%	N	%	N	%
Abajo	350	59,9	303	60,6	507	55,4
Adentro	45	7,7	58	11,6	84	9,2
Afuera	94	16,1	53	10,6	155	16,9
No Clasificable (NC)	95	16,3	86	17,2	169	18,5
Total	584	100,0	500	100,0	915	100,0

Chi Cuadrado = 16,6;  $P = 0,0109$ .

No se encontraron antecedentes bibliográficos sobre la relación que podría existir entre NOP y DPEA.

### 5.9. Efecto de las Características Morfológicas de los Pezones y Otros Factores Sobre el Recuento de Células Somáticas

El modelo estadístico con que se analizó el efecto de los factores que afectan el recuento individual de células somáticas transformado logarítmicamente ( $\ln$  RCS), resultó altamente significativo ( $P < 0,0001$ ), alcanzando un  $r^2$  de 0,16. De las cuatro características morfológica de los pezones incluidas en el modelo, se determinaron efectos estadísticamente significativos sobre el  $\ln$  RCS para la DPEA ( $P = 0,0017$ ) y el DPE B ( $P = 0,0028$ ), pero no para los factores de LPE ( $P = 0,9984$ ) y DPE 1/2 ( $P = 0,1720$ ). Las

variables FPE y FPU no fueron incluidas en dicho modelo, dado que mediante un análisis bivariado previo, se comprobó que ninguna de las dos características afectó significativamente el Ln RCS ( $P > 0,05$ ).

Los demás factores incorporados al modelo estadístico (GEN, NOP, DEL, PDL y SP), mostraron efectos significativos sobre el Ln RCS, alcanzando el mismo nivel de significancia ( $P < 0,0001$ ).

### 5.9.1. Forma del pezón

Como se señaló, el análisis bivariado no demostró diferencias estadísticamente significativas en el Ln RCS individual según la FPE de las vacas, incluyendo aquellas con FPE NC ( $P = 0,3009$ ), (Cuadro 65). De estos resultados se desprende que la FPE no se relacionaría con la susceptibilidad a mastitis.

Cuadro 65. Medias de recuento de células somáticas (RCS), según la forma del pezón (FPE)

FPE	N	Ln RCS	RCS (x 1.000/ml)	
			Geométrica	Aritmética
Cilindro	1.142	1,98a	95,49	281,66
Cono	88	2,01a	102,32	310,12
No Clasificable (NC)	449	2,02a	104,71	296,32
Pera	295	2,03a	107,15	346,59

Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas ( $P > 0,05$ )

Los resultados de Durán y Hebel (1974), Rocha (1987), y Binde y Bakke (1984), tampoco indicarían la existencia de una relación entre susceptibilidad a mastitis y FPE. En el primer estudio, no se observaron diferencias en la frecuencia de mastitis clínica y subclínica entre pezones cónicos y cilíndricos (Durán y Hebel, 1974), lo que se vería corroborado por el trabajo de Rocha (1987), donde se determinaron frecuencias similares de mastitis (subclínica y clínica), entre los cuartos anteriores con pezones cónicos y cilíndricos (48,1 y 48,5%, respectivamente); mientras que en los posteriores, se observó una tendencia a presentar una mayor frecuencia de mastitis para los pezones cónicos en relación a los cilíndricos (59,4 y 51,4%, respectivamente), pero las diferencias no fueron estadísticamente

significativas. En el primer y segundo examen del trabajo de Binde y Bakke (1984), comparado con las prevalencias correspondientes a los pezones en forma de embudo (cono), se comprobó un 2,9 y 5,1% más de prevalencia de mastitis en los cuartos con pezones cilíndricos, respectivamente; pero las diferencias no fueron estadísticamente significativas.

Por su parte, Higgins *et al.* (1980), obtuvieron promedios logarítmicos de recuento celular significativamente mayores para los pezones con forma de botella (pera), tanto en los cuartos anteriores como posteriores, comparados con los recuentos correspondientes a los pezones en forma de embudo (cono) y cilindro, los cuales no se diferenciaron entre sí a este respecto. Sin embargo, análogamente a lo observado en el presente estudio, al estimar los efectos de la FPE sobre el recuento de células somáticas, ajustando los efectos de los factores rebaño, edad de la vaca y etapa de lactancia, no se encontraron diferencias significativas en el recuento celular según la FPE.

En un estudio donde sólo se compararon vacas con pezones en forma de embudo (cono) y cilindro (89 y 66 animales, respectivamente), Rathore (1976), obtuvo un promedio de recuento de células somáticas significativamente mayor para el segundo tipo de FPE (cilindro): 207.888 y 440.621 cél/ml, respectivamente ( $P < 0,01$ ); comprobando además frecuencias significativamente mayores ( $P < 0,05$ ), de vacas con recuentos celulares en los rangos de 500.000 – 750.000, 750.000 – 1.000.000 y  $> 1.000.000$  cél/ml. La menor susceptibilidad a mastitis de los pezones en forma de cono, podría atribuirse a que ofrecerían una mayor resistencia al trepamiento de las pezoneras y se ordeñarían más completamente, además de experimentar una menor frecuencia de erosiones en la punta del pezón, respecto a los pezones en forma cilíndrica y de pera (Seykora y McDaniel, 1985a).

Análogamente, Hickman (1964) determinó una frecuencia más elevada de mastitis clínica y subclínica en los pezones cilíndricos, comparada con los valores encontrados en los pezones en forma de embudo (cono) y botella (pera). No obstante, dichas diferencias alcanzaron significancia estadística sólo en las comparaciones realizadas entre los pezones posteriores.

En contraposición a los trabajos recién citados, Bakken (1981), estableció una correlación negativa y significativa entre mastitis causada por *Staphylococcus aureus* y FPE ( $r = - 0,10$ ;  $P < 0,05$ ), según la cual los pezones en forma de embudo (cono) presentaron una mayor frecuencia de este tipo de mastitis, en comparación a los pezones con forma de cilindro: 0,9 y 0,6%; respectivamente. Sin embargo, los resultados de este estudio no parecen reflejar una relación clara entre FPE y susceptibilidad a mastitis, considerando la pequeña diferencia observada en las frecuencias de mastitis por *Staphylococcus aureus* entre pezones cilíndricos y cónicos. Además, en el mismo estudio no se encontró una relación significativa de la FPE, tanto con la frecuencia de mastitis clínica como subclínica.

En resumen, los resultados obtenidos en el presente estudio serían compatibles con lo establecido en la literatura. Al respecto, cabe citar a Seykora y McDaniel (1985a), quienes señalan que si bien en algunas investigaciones se ha determinado una relación entre la forma del pezón y mastitis, en otras se ha encontrado escasa o ninguna relación entre la forma del pezón con las características de ordeña o la incidencia de mastitis subclínica.

### 5.9.2. Forma de la punta del pezón

Al igual que para la FPE, mediante análisis bivariado no se encontró diferencias estadísticamente significativas en el Ln RCS individual, entre vacas con distintas FPU, incluyendo aquellas con FPU NC ( $P = 0,4990$ ); lo que también indicaría que la FPU no se relaciona con la susceptibilidad a mastitis (Cuadro 66).

Cuadro 66. Medias de recuento de células somáticas (RCS), según la forma de la punta del pezón (FPU)

FPU	N	Ln RCS	RCS (x 1.000/ml)	
			Geométrica	Aritmética
Plana	544	1,98a	95,49	267,20
Puntiaguda	169	1,99a	97,72	274,61
Redondeada	414	2,0a	100,0	295,10
No Clasificable (NC)	847	2,02a	104,71	320,08

Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas ( $P > 0,05$ )

Este resultado sería compatible con la literatura, dado que en algunos trabajos no se ha establecido una relación entre FPU y mastitis, mientras que los resultados de otros parecen no mostrar consistencia en cuanto al tipo de FPU que estaría asociada a una mayor susceptibilidad a mastitis (Seykora y McDaniel, 1985a). Se ha señalado que, en general, las vacas con puntas de pezones redondeadas tienen una menor incidencia de infecciones intramamarias, respecto a aquellas con puntas de pezones puntiagudas, invertidas, o en forma de disco. Los pezones puntiagudos se verían expuestos a daños del orificio del conducto, en tanto que las puntas invertidas se asociarían a conductos de pezón de mayor diámetro, los cuales son menos resistentes a la invasión bacteriana (NMC, 1996).

Al igual que en el presente estudio, Chrystal *et al.* (1999), no verificaron una relación entre la forma del pezón en vacas Holstein y el recuento de células somáticas. Aunque Bakken (1981) encontró que la prevalencia de mastitis subclínica era más elevada en las vacas con punta de pezón invertida, en comparación a otras FPU (plana, semiplana, redondeada, semipuntiaguda y puntiaguda), las diferencias no fueron estadísticamente significativas ( $P > 0,05$ ). Dicho autor, tampoco pudo determinar correlaciones estadísticamente significativas entre las últimas cinco FPU, con las prevalencias de mastitis subclínica, mastitis por *Staphylococcus aureus* y mastitis clínica.

Por su parte, Binde y Bakke (1984), determinaron menores prevalencias de mastitis en muestras de leche de cuartos para pezones con puntas en plataforma (planas), en relación a las prevalencias obtenidas para los pezones con puntas redondeadas o puntiagudas, las cuales no se diferenciaron entre sí a este respecto; sin embargo, las diferencias fueron significativas sólo en una de dos evaluaciones (Chi-cuadrado  $P < 0,05$ ). En ambas evaluaciones, las prevalencias más elevadas de mastitis correspondieron a los pezones con puntas invertidas, pero las comparaciones estadísticas con los demás FPU, se vieron limitadas por el bajo número de observaciones disponibles para los pezones con puntas invertidas.

En la revisión bibliográfica de Seykora y McDaniel (1985a), se establece que la mayoría de los estudios concuerda en que las vacas con puntas de pezón invertida o en forma de disco, tienen incidencias de mastitis significativamente mayores, en relación a las determinadas en vacas con puntas de pezón redondeada. Si bien la punta de pezón invertida tendría ventajas en términos de ordeñabilidad y resistencia a la eversión del conducto, esta forma de punta de pezón mostraría más predisposición a mastitis debido a una mayor acumulación de restos de leche en la punta del pezón después de la ordeña, lo cual favorecería la proliferación de patógenos mamarios y su posterior ingreso por el conducto del pezón. Además, esta forma se asocia a un mayor diámetro del conducto del pezón, lo que a su vez facilitaría la penetración bacteriana hasta la cisterna del pezón.

Por otra parte, Slettbak *et al.* (1990), comprobaron que los pezones con punta invertida y puntiaguda, se asociaban a mayores RCS individuales en vacas de primera lactancia de raza Rojo Noruego. Sin embargo, según los autores, el impacto de la variable FPU sobre el recuento de células somáticas sería relativamente pequeño, ya que en su estudio dicha variable representó aproximadamente el 5% de la variación total del  $\log_e$  RCS entre vacas. Neijenhuis *et al.* (2001), determinaron una frecuencia significativamente mayor de formas de puntas de pezones puntiagudos en vacas con mastitis clínica, respecto a las vacas no afectadas por mastitis. Si bien los pezones puntiagudos podrían ser más susceptibles a mastitis por estar más predispuestos a la erosión del orificio del conducto (Seykora y McDaniel, 1985a; NMC, 1996), lo que se vería corroborado por los resultados de Bakken (1981), al comparar pezones con puntas puntiagudas y con puntas planas, en el mismo estudio no pudo demostrarse la existencia de una asociación estadística entre FPU y mastitis.

Seykora y McDaniel (1985b), demostraron la existencia de relaciones significativas de la forma de la punta del pezón con el RCS individual y el porcentaje de leche obtenido en los primeros 2 minutos de ordeña. Las vacas con pezones puntiagudos tuvieron los valores más bajos de RCS y de porcentaje de leche obtenido hasta los 2 minutos; mientras que a medida que la punta de los pezones se hacía más plana, mayores eran los valores para el RCS y el porcentaje de leche ordeñado a los 2 minutos. Durán y Hebel (1974), observaron una

relación aparente entre la forma de la punta del pezón y mastitis, pero las categorías de formas de la punta del pezón utilizadas por dichos autores, no permiten comparar sus resultados con lo obtenido en el presente estudio.

Basado en la revisión de Seykora y McDaniel (1985a), puede señalarse que habría varias explicaciones a la falta de consistencia entre los resultados de las investigaciones referentes a la relación entre FPU y mastitis. La forma de la punta del pezón es una medición subjetiva y difícilmente estandarizable. Además, los indicadores de susceptibilidad a mastitis varían ampliamente entre estudios, pudiendo finalmente la relación entre FPU y mastitis verse afectada por efectos genéticos y ambientales.

### 5.9.3. Dirección de los pezones anteriores

Como se señaló, la DPEA afectó significativamente el Ln RCS individual ( $P = 0,0017$ ), aunque dicho factor no constituiría una fuente importante de variación del recuento celular, dado que representaría un 4% de la variación del Ln RCS explicada por el modelo estadístico.

Las vacas con DPEA hacia adentro mostraron un Ln RCS significativamente mayor, comparadas con las vacas incluidas en las demás categorías de DPEA, las cuales no se diferenciaron entre sí a este respecto (Cuadro 67).

Cuadro 67. Medias de recuento de células somáticas (RCS), según la dirección de los pezones anteriores (DPEA)

DPEA	N	Ln RCS	RCS (x 1.000/ml)	
			Geométrica	Aritmética
Afuera	294	1,95a	90,63	267,20
Abajo	1.146	1,97a	94,38	274,61
No Clasificable (NC)	349	2,03a	109,19	295,10
Adentro	185	2,15b	141,28	320,08

Letras distintas indican diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ )

No se encontraron antecedentes que demuestren claramente una relación de la DPEA con susceptibilidad a mastitis o recuento de células somáticas. *A priori*, podría ser esperable que las vacas con DPEA hacia abajo fueran menos susceptibles a neoinfecciones intramamarias y, por ende, tuvieran menores recuentos celulares que las vacas con DPEA hacia afuera o hacia adentro. Esta hipótesis supondría que la unidad de ordeña se mantiene mejor posicionada y alineada durante el ordeño en las vacas con DPEA hacia abajo, comparado con lo que ocurriría con las vacas con DPEA hacia afuera o hacia adentro, las cuales se verían expuestas a mayores frecuencias de deslizamientos de pezoneras, con los consiguientes riesgos que ello implica en lo referente a transmisión de infecciones intramamarias durante el ordeño (Spencer, 1989; Baxter *et al.*, 1992).

No obstante, en el presente estudio sólo pudo evidenciarse un recuento celular significativamente mayor para las vacas con DPEA hacia adentro, pero no para las con DPEA hacia afuera, con respecto a las vacas con DPEA hacia abajo. Tampoco pudo comprobarse diferencias en el Ln RCS entre las vacas con DPEA hacia abajo y aquellas con DPEA NC; es decir las vacas que presentaron distintas direcciones en sus pezones anteriores.

No hay una explicación clara para el mayor nivel de recuento celular observado en las vacas con DPEA hacia adentro, respecto a los valores determinados en las vacas con los demás tipos de DPEA. Sin embargo, como lo mencionan algunos ordeñadores, la DPEA hacia adentro, podría hacer más difícil una preparación adecuada de los pezones anteriores; lo que eventualmente podría aumentar las tasas de nuevas infecciones intramamarias, reflejándose ello en un incremento del RCS individual.

#### **5.9.4. Diámetro en la base del pezón**

Al igual que la DPEA, el DPE B afectó significativamente el Ln RCS individual ( $P < 0,0028$ ). Esta característica morfológica de los pezones, tampoco parece ser una fuente importante de variación del recuento celular, puesto que contribuiría en sólo 3% a la variación del Ln RCS explicada por el modelo.

Los resultados que aparecen en el cuadro 68, denotarían un incremento del Ln RCS individual, a medida que aumenta el DPE B de las vacas; estableciéndose diferencias estadísticamente significativas entre todas las categorías de DPE B.

Cuadro 68. Medias de recuento de células somáticas (RCS), según el diámetro en la base del pezón (DPE B)

DPE B (cm)	N	Ln RCS	RCS (x 1.000/ml)	
			Geométrica	Aritmética
1,88 – 2,63	532	1,93a	84,46	218,72
2,63 – 3,13	1.012	2,00b	100,20	308,01
3,13 – 5,13	430	2,09c	123,36	394,33

Letras distintas indican diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ )

### 5.9.5. Diámetro en la mitad del pezón

A diferencia de lo observado para el DPE B, el DPE 1/2 no mostró un efecto significativo sobre el Ln RCS individual ( $P = 0,1720$ ). Sólo pudo apreciarse una tendencia de aumento de los promedios de Ln RCS, asociada al incremento del DPE 1/2 de las vacas (Cuadro 69).

Cuadro 69. Medias de recuento de células somáticas (RCS), según el diámetro en la mitad del pezón (DPE 1/2)

DPE 1/2 (cm)	N	Ln RCS	RCS (x 1.000/ml)	
			Geométrica	Aritmética
1,63 – 2,38	549	1,92a	84,04	241,80
2,38 – 2,75	983	2,03a	105,09	313,84
2,75 – 4,25	442	2,06a	114,05	355,28

Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas ( $P > 0,05$ )

Complementariamente, se estudió la relación del Ln RCS individual con el DPE B mediante análisis de correlación simple, determinándose un valor moderado para el coeficiente de correlación y una relación significativa entre dichas variables ( $r = 0,10$ ;  $P < 0,0001$ ). El mismo tipo de análisis arrojó un valor similar para el coeficiente de correlación entre el Ln RCS y el DPE 1/2, estableciéndose también una relación significativa entre ambas variables ( $r = 0,11$ ;  $P < 0,0001$ ).

Considerados globalmente, los resultados obtenidos al estudiar el efecto del DPE B y DPE 1/2 sobre el recuento individual de células somáticas de la leche, son compatibles con lo establecido en la literatura. Al respecto, cabe citar a Zwertvaegher (2012), quien revisando la bibliografía sobre este tema señala que generalmente se ha comprobado que el RCS aumenta a medida que se incrementa el diámetro del pezón, aunque en algunos estudios no se ha encontrado una asociación entre ambas variables. Según dicho autor, las diferencias en los métodos de medición de las dimensiones de los pezones, las variaciones en las definiciones de mastitis e infecciones intramamarias, así como en los métodos estadísticos utilizados y las razas sometidas a evaluación, explicarían los resultados contradictorios de las investigaciones.

En contraposición a lo observado en el presente estudio, Zwertvaegher (2012), no encontró una relación significativa del Ln RCS de leche de cuartos con el DPE B, pero si con el DPE 1/2.

En uno de los estudios de Zwertvaegher (2012), donde se incluyeron 72 vacas Holstein de 6 rebaños, el Ln RCS de muestras de leche de cuartos aumentó significativamente con el incremento del diámetro del cuerpo del pezón; resultado que sería distinto al del presente estudio, pero consistente con los obtenidos por otros investigadores (Higgins *et al.*, 1980; Seykora y McDaniel, 1986; Chrystal *et al.*, 1999). Chrystal *et al.* (1999), comprobaron que 1 mm de aumento en el diámetro del pezón, en la zona media, se asociaba a un incremento de 0,06 unidades de puntaje de células somáticas (PCS), lo que según dichos autores se explicaría porque los pezones de mayor diámetro tienden a tener orificios y conductos del pezón más anchos, lo cual los haría más susceptibles a nuevas infecciones intramamarias. Parte de la relación entre conducto del pezón y mastitis, puede deberse a que las vacas de mayor edad tienen tanto pezones más grandes como esfínteres de pezón más relajados, lo que facilitaría la penetración bacteriana del conducto del pezón (Seykora y McDaniel, 1985a).

En un trabajo realizado con vacas Holstein, Higgins *et al.* (1980), determinaron correlaciones fenotípicas positivas y estadísticamente significativas del recuento individual de células somáticas, con los diámetros proximal, medio y distal de los pezones. Sin embargo, al ajustar por los efectos del rebaño, edad de la vaca y etapa de la lactancia, sólo se encontró una relación significativa del recuento celular con el diámetro medial de los pezones posteriores, estimándose que un aumento de 1 cm en el diámetro medial, se reflejaría en un incremento de 224.000 cél/ml en el recuento celular.

Otro estudio, efectuado en un rebaño de 82 vacas Holstein de la VIII Región de Chile, en el cual no se especifica el punto de medición del diámetro del pezón, también demostró la existencia de una correlación positiva ( $P = 0,004$ ), entre esta característica del pezón y el RCS individual (Palma, 2006). Utilizando un análisis de correlación múltiple, Coban *et al.* (2009), determinaron una correlación positiva de baja magnitud entre el diámetro en la mitad del pezón y el recuento individual de células somáticas, aunque ésta fue estadísticamente significativa ( $P < 0,05$ ).

Análogamente, Chrystal *et al.* (1999), evaluando el diámetro a 1,5 cm de la punta del pezón, concluyen que los diámetros de pezón más anchos se asociaron a recuentos más elevados de células somáticas. Seykora y McDaniel (1986), midiendo el diámetro en la zona media del pezón, comprobaron que las vacas con pezones de menor diámetro tenían recuentos más bajos de células somáticas. En un estudio efectuado en 4 rebaños lecheros nacionales de vacas Holstein, se comprobó que las tasas de positividad a mastitis clínica y subclínica fueron significativamente mayores en los cuartos con pezones anchos en la zona media ( $2,1 - \geq 3$  cm), en comparación a animales con pezones angostos ( $1,0 - 2,0$  cm), tanto en los cuartos anteriores como posteriores (Rocha, 1978). Los resultados de Durán y Hebel (1974), indicarían una frecuencia creciente de cuartos afectados con mastitis clínica y subclínica, a medida que el diámetro medio del pezón se incrementa desde 1,39 a 3,78 cm.

Por otra parte, en un estudio que incluyó 560 vacas de razas noruegas, Slettbak *et al.* (1995) concluyen que un diámetro de pezón mayor al promedio del rebaño, sería un factor de riesgo de mastitis clínica, con valores de probabilidad cercanos al nivel de significancia estadística en los dos modelos de análisis utilizados ( $P = 0,06$  y  $P = 0,04$ ). Hickman (1964), comprobó aumentos notorios en las frecuencias de infecciones subclínicas y clínicas, al incrementarse el diámetro en la mitad de la longitud del pezón, entre 1-2, 2-3 y 3-4 cm; aunque éstos no fueron estadísticamente significativos.

En contraposición a lo señalado anteriormente, en otros trabajos no se ha observado ninguna relación entre mastitis y diámetro del pezón en vacas de raza Rojo Noruego. Por ejemplo, Bakken (1981), no encontró asociación entre diámetro de la zona media alta del pezón y mastitis clínica. Por su parte, Binde y Bakke (1984), no comprobaron la existencia de una asociación entre diámetro de la zona media del pezón y prevalencia de infecciones intramamarias.

### 5.9.6. Longitud del pezón

Al comparar las vacas incluidas en las tres categorías de LPE (Cuadro 70), no se encontró diferencias significativas en el Ln RCS individual ( $P = 0,9984$ ). Ello indicaría que la LPE no se relaciona con el RCS, de lo que se desprende que la susceptibilidad a mastitis no se vería afectada por variaciones en la LPE; al menos dentro del rango de valores de LPE observados en el presente estudio. El análisis de correlación simple entre ambas variables, mostró una relación significativa de escasa magnitud entre el Ln RCS y la LPE ( $r = 0,06$ ;  $P = 0,0092$ ).

Cuadro 70. Medias de recuento de células somáticas (RCS), según la longitud del pezón (LPE)

LPE (cm)	N	Ln RCS	RCS (x 1.000/ml)	
			Geométrica	Aritmética
2,78 – 4,38	272	1,97a	94,03	333,13
4,38 – 5,50	1.326	2,00a	101,11	262,06
5,50 – 10,0	376	2,02a	106,56	333,05

Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas ( $P > 0,05$ )

Estos resultados serían similares a los obtenidos por Zwervaegher (2012), quien no encontró una relación significativa entre el Ln RCS de leche de cuartos y la LPE; situación que según dicho autor estaría de acuerdo con lo descrito en otros trabajos (Seykora y McDaniel, 1986; Coban *et al.*, 2009). Estudiando 110 vacas de dos rebaños lecheros, Coban *et al.* (2009), determinaron una relación positiva de pequeña magnitud, la cual no fue estadísticamente significativa, entre el recuento celular individual y la longitud del pezón. Análogamente, en el estudio de Palma (2006), no se encontró una relación estadísticamente significativa entre RCS individual y LPE.

Por otra parte, los resultados del presente estudio también serían compatibles con los obtenidos por otros autores, los cuales no muestran una asociación entre longitud del pezón y prevalencia de infecciones intramamarias (Binde y Bakke, 1984), ni de longitud del pezón con mastitis subclínica, mastitis clínica y mastitis por *Staphylococcus aureus* (Bakken, 1981). Hickman (1964), tampoco comprobó la existencia de una asociación entre longitud del pezón y mastitis (clínica y subclínica); mientras que Neijenhuis *et al.* (2001), no encontraron diferencias en la longitud del pezón, entre vacas sin mastitis clínica y vacas afectadas por esta forma de mastitis ( $P = 0,23$ ).

En contraposición a los trabajos recién citados, de los resultados de algunas investigaciones se desprende que la susceptibilidad a mastitis aumentaría en la medida que se incrementa la longitud del pezón. Ello explicaría que desde el punto de vista de disminuir la susceptibilidad a mastitis, se consideren como deseables pezones de longitud corta o media, en lugar de pezones de mayor longitud (Shook, 1989). De acuerdo a algunos autores (Seykora y McDaniel, 1986; Rogers *et al.*, 1991), los pezones más largos podrían estar más predispuestos a mastitis debido a incompatibilidades con la máquina de ordeña, tales como aumento de los deslizamientos de pezoneras, incremento en las probabilidades de lesiones del pezón, o ambas causas. También se ha señalado que por su menor distancia respecto al suelo, los pezones más largos se verían expuestos a un mayor riesgo de infecciones intramamarias, asociándose eventualmente con recuentos celulares más elevados (Slettbakk *et al.*, 1995).

Así, Rocha (1978), verificó proporciones significativamente crecientes de cuartos anteriores y posteriores positivos a mastitis clínica y subclínica, al comparar entre si pezones cortos ( $< 5,9$  cm), medianos ( $6 - 7,9$  cm) y largos ( $> 8,0$  cm). Análogamente, Durán y Hebel (1974), describen un incremento en la frecuencia de cuartos afectados por mastitis clínica y subclínica, a medida que aumenta la longitud del pezón, desde un mínimo de 4 cm hasta un máximo de 14 cm. Por su parte, Higgins *et al.* (1980), determinaron una correlación fenotípica positiva entre recuento de células somáticas y longitud del pezón ( $P < 0,05$ ), la cual alcanzó valores de 0,16 y 0,15 para el recuento celular real y logarítmico, respectivamente. Al realizar el mismo tipo de análisis, ajustando los efectos del rebaño, edad de la vaca y etapa de lactancia, sólo se encontró una relación significativa del recuento celular con la longitud de los pezones posteriores, estimándose que un aumento de 1 cm en la longitud de los pezones posteriores, se asociaba a un aumento de 75.000 cél/ml en el recuento celular.

#### **5.9.7. Genotipo**

El Ln RCS individual se vio afectado significativamente por el factor GEN ( $P < 0,0001$ ). Este factor contribuiría en un 7% a la variación del Ln RCS explicada por el modelo estadístico.

Los recuentos celulares más bajos correspondieron a los genotipos FRxRRL, Jc y H, los cuales no se diferenciaron estadísticamente entre sí. Las vacas FR presentaron recuentos significativamente más elevados que las vacas de los dos primeros GEN, pero similares a los de las vacas H y FN. El RCS de estas últimas, superó significativamente el RCS del resto de los GEN, excepto al compararlas con las vacas FR (Cuadro 71).

Los resultados denotarían diferencias de gran magnitud entre las medias de RCS de las vacas de distintos genotipos. Considerando sólo las medias geométricas y excluyendo las vacas FN por el bajo número de observaciones disponibles, la diferencia entre la media más alta y más baja alcanzó a 67.840 cél/ml, lo que representaría un 85% de mayor recuento para el genotipo FR respecto al FRxRRL.

Cuadro 71. Medias de recuento de células somáticas (RCS), según el genotipo de las vacas (GEN)

GEN	N	Ln RCS	RCS (x 1.000/ml)	
			Geométrica	Aritmética
Frisón Rojo x Razas Rojas Lecheras (FRxRRL)	107	1,89a	77,84	176,34
Jersey y Cruzas con Jersey (Jc)	377	1,90a	79,63	257,31
Holstein Friesian (H)	1.350	2,01ab	103,65	328,02
Frisón Rojo (FR)	132	2,16bc	145,68	356,01
Frisón Negro (FN)	8	2,26c	181,97	841,04

Letras distintas indican diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ )

En general, estos resultados serían compatibles con lo señalado en la literatura, en el sentido que habrían diferencias raciales de diversa magnitud en el recuento de células somáticas de la leche y/o frecuencias de infecciones intramamarias (Reneau, 1986; Agüero, 1988), basado en los resultados de investigaciones efectuadas en distintos países (Brandsma y Maatje, 1980; Rabold y Pichler, 1980; Brolund, 1985).

En una investigación realizada en Alemania, utilizando varios criterios de definición de mastitis, Rabold y Pichler (1980) estudiaron 451 rebaños con recuentos celulares elevados ( $> 300.000$  cél/ml), los cuales estaban integrados por un total de 10.337 vacas de distintas razas. Los autores concluyen que la frecuencia de mastitis fue menor en las vacas Brown Swiss, comparadas con los animales de otras razas, las que mostraron el siguiente ordenamiento de frecuencias crecientes de mastitis: Simmental, Frisón Rojo y Frisón Negro. Los resultados de otro trabajo, orientado a investigar la relación entre el equipo de ordeña y el recuento de células somáticas de leche de estanque, indican que el ganado Frisón Rojo de Holanda presenta recuentos celulares más elevados que el Frisón Negro, llegando a alcanzar niveles de infección subclínica 30 - 40% mayores. Las diferencias en el nivel de recuento celular entre ambas razas se observaron en las dos regiones que abarcó el estudio, y se detectaron consistentemente al comparar los recuentos de rebaños ordeñados con distintos tipos de equipos e instalaciones de ordeña (Brandsma y Maatje, 1980).

Por otra parte, analizando muestras de leche de cuartos y muestras individuales, Brolund (1985) verificó recuentos más bajos de células somáticas para las vacas de raza Rojo Sueco (N = 6.307), respecto a los niveles de recuento de las vacas de raza Frisona Sueca (N = 3.686). Los promedios geométricos correspondientes a las muestras de leche individuales alcanzaron a 98.000 y 162.000 cél/ml, respectivamente. Los distintos niveles de RCS de ambas razas reflejarían diferencias en la susceptibilidad a infecciones intramamarias; dado que en el mismo estudio, se determinaron valores menores de prevalencia e incidencia de infecciones intramamarias para la raza Rojo Sueco, en comparación a la Frisona Sueca.

### 5.9.8. Número ordinal de parto

El NOP afectó significativamente el Ln RCS individual ( $P < 0,0001$ ). Después del SP, este factor es el que mayormente influiría en el RCS, puesto que representaría un 22% de la variación del Ln RCS explicada por el modelo.

Como se observa en el cuadro 72, no se encontró diferencias significativas en el Ln RCS entre las vacas de NOP 1 y 2; determinándose un promedio significativamente mayor para las vacas de  $\text{NOP} \geq 3$ .

Cuadro 72. Medias de recuento de células somáticas (RCS), según el número ordinal de parto de las vacas (NOP)

NOP	N	Ln RCS	RCS (x 1.000/ml)	
			Geométrica	Aritmética
1	576	1,89a	78,72	239,59
2	495	1,93a	85,92	237,88
$\geq 3$	903	2,12b	133,65	395,90

Letras distintas indican diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ )

Análogamente a lo observado en el presente estudio, utilizando muestras de leche individuales y de leche de cuartos, e incluso pruebas indirectas como el California Mastitis Test (CMT), en numerosos trabajos se ha descrito un incremento del RCS a medida que aumenta el NOP; constituyendo éste uno de los factores que afecta de manera importante el recuento celular (Brolund, 1985; Agüero *et al.*, 1986a; Reneau, 1986; Agüero, 1988; Harmon, 1994; Laevens *et al.*, 1997; Zwertvaegher, 2012). El NOP tendría escaso o ningún

efecto sobre el RCS de leche de ubres o cuartos no infectados, por lo cual el incremento de los recuentos celulares en las vacas de mayor edad o NOP más elevados, se atribuye fundamentalmente a un aumento en las tasas de neoinfecciones intramamarias durante el transcurso de su vida productiva (Emanuelson y Persson, 1984; Brolund, 1985; Reneau, 1986; Agüero, 1988; Harmon, 1994; Laevens *et al.*, 1997; Schepers *et al.*, 1997).

### 5.9.9. Días en lactancia

Los DEL afectaron significativamente el Ln RCS individual ( $P < 0,0001$ ). Este factor también influiría de manera importante el RCS, contribuyendo en un 18% a la variación del Ln RCS explicada por el modelo estadístico.

Los resultados del presente estudio (Cuadro 73), muestran una tendencia de incremento del Ln RCS con el transcurso de la lactancia; estableciéndose diferencias estadísticamente significativas sólo al comparar el último período de lactancia con los dos primeros.

Cuadro 73. Medias de recuento de células somáticas (RCS), según los días en lactancia de las vacas (DEL)

DEL	N	Ln RCS	RCS (x 1.000/ml)	
			Geométrica	Aritmética
≤ 100	576	1,89a	78,34	369,06
101-200	420	1,95a	89,35	243,07
> 200	978	2,10b	128,73	294,01

Letras distintas indican diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ )

Al igual que en el caso del NOP, estos resultados estarían dentro de lo esperable, ya que en la mayoría de las investigaciones con muestras de leche individuales y de leche de cuartos, se ha detectado un alza estadísticamente significativa o una tendencia creciente del RCS y de las reacciones positivas al CMT a medida que avanza la lactancia, alcanzándose los valores máximos en sus etapas finales. También se ha descrito con bastante frecuencia una curva de recuento celular caracterizada por un elevado nivel en las primeras semanas de lactancia, el cual disminuye a un mínimo durante la lactancia media, para experimentar un aumento en la lactancia tardía (Brolund, 1985; Reneau, 1986; Agüero *et al.*, 1986b;

Agüero, 1988; Harmon, 1994). El patrón de variación del RCS durante la lactancia reflejaría un fenómeno fisiológico ocasionado por un efecto de dilución de las células somáticas, donde la magnitud de los recuentos celulares sigue un comportamiento aproximadamente inverso al de la curva de producción de leche, pero estaría relacionado también con las infecciones intramamarias, considerando que el incremento del RCS a lo largo de la lactancia sería más evidente en las vacas o cuartos con infecciones intramamarias, particularmente cuando las infecciones son ocasionadas por patógenos mayores (Sheldrake *et al.*, 1983; Reneau, 1986; Agüero, 1988; Harmon, 1994; Laevens *et al.*, 1997).

El efecto de dilución puede ser un aspecto importante de considerar, al analizar la relación entre producción de leche y recuento de células somáticas. Al respecto, Miller *et al.* (2004), señalan que varios investigadores (Raubertas y Shook, 1982; Miller *et al.*, 1983; Emanuelson y Persson, 1984; Miller *et al.*, 1993), han discutido si la relación entre rendimiento lácteo y RCS puede ser en parte un artefacto provocado por un efecto de dilución; es decir, un incremento en la concentración de células somáticas provocado por cualquier factor que ocasione un descenso en la producción de leche, considerando que bajo condiciones normales durante la lactancia se estaría secretando un número relativamente constante de células somáticas.

#### **5.9.10. Producción diaria de leche**

La PDL ejerció un efecto significativo sobre el Ln RCS individual ( $P < 0,0001$ ), reflejando una relación inversa entre ambas variables. La PDL se relacionaría de manera importante con el RCS, puesto que contribuiría en un 20% a la variación del Ln RCS explicada por el modelo.

Como se observa en el cuadro 74, los resultados muestran un claro descenso en los promedios de RCS a medida que se incrementa la PDL, siendo las diferencias entre todos los rangos productivos estadísticamente significativas.

Cuadro 74. Medias de recuento de células somáticas (RCS), según la producción diaria de leche de las vacas (PDL)

PDL (kg/día)	N	Ln RCS	RCS (x 1.000/ml)	
			Geométrica	Aritmética
≤ 14,0	466	2,19c	155,20	370,65
14,0 – 30,0	1.003	1,97b	94,05	306,83
30,0 - 66,8	505	1,88a	77,60	239,90

Letras distintas indican diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ )

Habría al menos dos causas de la relación negativa entre rendimiento lácteo y la concentración celular de la leche. Una de ellas corresponde a un efecto de dilución propiamente tal, donde cualquier factor que reduzca el volumen de la leche producida, aun cuando el número de células somáticas permanezca constante, provoca un incremento de la concentración celular/ml de leche. Otra explicación, es que el recuento celular aumente en términos reales debido a infecciones intramamarias, las cuales también reducen la producción de leche. Además, no puede excluirse la posibilidad de que exista una correlación genética negativa entre producción de leche y el recuento celular. Esta posible mezcla de factores genéticos, ambientales y fisiológicos hace bastante difícil interpretar la relación entre el recuento de células somáticas y la producción de leche, considerando la primera como variable dependiente (Agüero, 1988).

### 5.9.11. Sistema productivo

El SP afectó significativamente el Ln RCS individual ( $P < 0,0001$ ). De todos los factores en estudio, fue el que en mayor medida influiría en el RCS, puesto que representaría un 25% de la variación del Ln RCS explicada por el modelo.

El promedio del Ln RCS individual de los rebaños en confinamiento, resultó significativamente mayor en comparación a los promedios determinados en los rebaños alimentados en base a pastoreo y en el sistema mixto de producción, sin encontrarse diferencias significativas entre estas dos últimos sistemas (Cuadro 75).

Cuadro 75. Medias de recuento de células somáticas (RCS), según el sistema productivo de las vacas (SP)

SP	N	Ln RCS	RCS (x 1.000/ml)	
			Geométrica	Aritmética
Pastoreo	1.434	1,96a	91,93	247,03
Mixto	143	1,98a	96,98	217,00
Confinamiento	397	2,15b	142,33	527,97

Letras distintas indican diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ )

Excluyendo el sistema de producción mixto debido a que estuvo representado por un solo rebaño, los resultados son consistentes con la última información disponible del CLO de COOPRINSEM, la cual muestra promedios de RCS más elevados para los rebaños de las Regiones VIII (340.000 cél/ml) y Metropolitana (387.000 cél/ml), donde se utilizan fundamentalmente sistemas de producción en confinamiento; comparadas con las Regiones IX (291.000 cél/ml) y X-XIV (281.000 cél/ml), cuyos sistemas productivos se basan en el pastoreo (Quichiyao, 2010).

Las diferencias de RCS entre los sistemas de producción no se relacionarían con un efecto de dilución celular, dado que de acuerdo a la misma fuente bibliográfica (Quichiyao, 2010) y los resultados de este estudio (Cuadro 5), el rendimiento lácteo por vaca es notoriamente más alto en las regiones donde se utilizan fundamentalmente sistemas de producción en confinamiento, comparado con aquellas donde predominan los sistemas basados en el pastoreo. Las diferencias entre sistemas productivos probablemente reflejen un mayor nivel de exposición de las vacas a patógenos mamarios en los sistemas en confinamiento, junto con un mayor grado de complejidad en la implementación de medidas eficaces de control de mastitis, aunque estas hipótesis y otras eventuales explicaciones deberían ser investigadas apropiadamente, considerando además las diferencias que podrían existir en lo referente a tasa de infecciones intramamarias y patógenos causales predominantes de las mastitis subclínicas y clínicas, entre rebaños manejados en confinamiento y a pastoreo.

## 5.10. Efecto de las Características Morfológicas de los Pezones y Otros Factores sobre la Producción Diaria de Leche

El modelo de análisis de la producción diaria de leche por vaca resultó altamente significativo ( $P < 0,0001$ ), alcanzando un  $r^2$  de 0,56. Las cinco características morfológicas de los pezones incluidas en el modelo mostraron efectos estadísticamente significativos sobre la PDL: DPE B y DPE 1/2 ( $P < 0,0001$ ), LPE ( $P = 0,0131$ ), FPE ( $P = 0,0002$ ) y FPU ( $P < 0,0001$ ). Mediante un análisis bivariado previo, se determinó que la variable DPEA no afectó significativamente la PDL ( $P = 0,6199$ ), por lo que no se incluyó en el modelo estadístico.

Los demás factores incorporados al modelo (GEN, NOP, DEL, Ln RCS y SP), también mostraron efectos significativos sobre la PDL, alcanzando idéntico nivel de significancia ( $P < 0,0001$ ).

### 5.10.1. Dirección de los pezones anteriores

Como ya se estableció, el análisis bivariado no demostró diferencias significativas en la PDL según la DPEA de las vacas, incluyendo aquellas con DPEA NC ( $P = 0,6199$ ), (Cuadro 76). De acuerdo a estos resultados, la DPEA no tendría ninguna relación con el rendimiento lácteo individual.

Cuadro 76. Producción diaria de leche por vaca (PDL, kg), según la dirección de los pezones anteriores (DPEA)

DPEA	N	Media $\pm$ E.E.
Abajo	1.185	22,64 $\pm$ 0,28a
Afuera	316	23,79 $\pm$ 0,47a
No Clasificable (NC)	369	24,39 $\pm$ 0,43a
Adentro	186	24,84 $\pm$ 0,65a

Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas ( $P > 0,05$ )

No se encontraron antecedentes bibliográficos referentes a una eventual relación entre DPEA y producción de leche por vaca.

### 5.10.2. Diámetro en la base del pezón

El DPE B afectó significativamente la producción diaria de leche ( $P < 0,0001$ ). Sin embargo, esta característica morfológica de los pezones no sería una fuente relevante de variación de rendimiento lácteo, dado que contribuiría apenas en un 1% a la variación de la PDL explicada por el modelo estadístico.

Los resultados denotarían un incremento significativo de la PDL (kg), asociado al aumento del DPE B de las vacas, estableciéndose diferencias estadísticamente significativas entre todas las categorías de DPE B (Cuadro 77).

Cuadro 77. Producción diaria de leche por vaca (PDL, kg), según el diámetro en la base del pezón (DPE B)

DPE B	N	Media $\pm$ E.E.
1,88 – 2,63	532	19,24 $\pm$ 0,35a
2,63 – 3,13	1.012	25,02 $\pm$ 0,26b
3,13 – 5,13	430	26,01 $\pm$ 0,39c

Letras distintas indican diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ )

Del cuadro 77 se desprende que si bien las diferencias en PDL entre las tres categorías de DPE B resultaron estadísticamente significativas, ello sería mucho más evidente al comparar las dos primeras categorías de DPE B, donde la diferencia entre los promedios de PDL fue aproximadamente 6,0 kg; mientras que la diferencia correspondiente a la comparación entre la segunda y tercera categoría alcanzó aproximadamente a 1 kg.

Por otra parte, al estudiar la relación de la PDL con el DPE B mediante análisis de correlación simple, se obtuvo un valor positivo y de baja magnitud para el coeficiente de correlación, siendo la relación entre ambas variables estadísticamente significativa ( $r = 0,17$ ;  $P < 0,0001$ ).

Los resultados presentados en el cuadro 77, no denotarían una relación directa entre la PDL y el DPE B, sino que reflejarían incrementos en los promedios de PDL en las categorías 2,63 – 3,13 cm y 3,13 – 5,13 cm, asociados a una disminución de las frecuencias de vacas

de uno de los GEN de menor nivel productivo (Jc), en dichas categorías (11,8 y 3,4%, respectivamente), en comparación a la frecuencia observada en la categoría de DPE B de 1,88 – 2,63 cm (38,0%). Conjuntamente con este descenso en las frecuencias de las vacas Jc, al aumentar el DPE B hubo un incremento en las frecuencias de vacas del GEN de mayor nivel de PDL (H): 45,8; 68,7 y 68,2%; para las categorías de DPE B 1,88 – 2,63; 2,63 – 3,13 y 3,13 – 5,13 cm, respectivamente.

### 5.10.3. Diámetro en la mitad del pezón

El DPE 1/2 también afectó significativamente la producción diaria de leche ( $P < 0,0001$ ). Análogamente a lo observado para el DPE B, esta característica no sería una fuente relevante de variación del rendimiento lácteo, ya que representaría sólo un 3% de la variación de la PDL explicada por el modelo.

Al igual que lo descrito para el DPE B, a medida que el DPE 1/2 de las vacas se incrementa, aumenta significativamente la producción de leche de las vacas, determinándose también diferencias significativas en la PDL entre todas las categorías de DPE 1/2 (Cuadro 78).

Cuadro 78. Producción diaria de leche por vaca (PDL, kg), según el diámetro en la mitad del pezón (DPE 1/2)

DPE 1/2 (cm)	N	Media $\pm$ E.E.
1,63 – 2,38	549	18,20 $\pm$ 0,35a
2,38 – 2,75	983	24,58 $\pm$ 0,26b
2,75 – 4,25	442	29,25 $\pm$ 0,39c

Letras distintas indican diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ )

Los resultados presentados en el cuadro 78, parecen denotar una relación más lineal entre la PDL y el DPE 1/2, comparado con la observada entre la PDL y el DPE B, dado que los incrementos en PDL alcanzaron aproximadamente a 6 y 5 kg, al comparar los promedios de PDL de las vacas incluidas en las categorías de DPE 1/2 (cm) 1,63 – 2,38 vs 2,38 – 2,75; y 2,38 – 2,75 vs 2,75 – 4,25; respectivamente.

Al igual que para el DPE B, el análisis de correlación entre la PDL y el DPE 1/2 también mostró una relación positiva entre ambas variables, pero en este caso se obtuvo un coeficiente de correlación más elevado ( $r = 0,32$ ;  $P < 0,0001$ ).

Los resultados obtenidos para el DPE B y DPE 1/2 denotarían una situación similar a la descrita por Rogers y Spencer (1991), quienes establecieron relaciones significativas del rendimiento lácteo por vaca con el diámetro de los pezones anteriores ( $0,24$ ;  $P < 0,05$ ) y el diámetro de los pezones posteriores ( $0,33$ ;  $P < 0,01$ ). Además, determinaron relaciones positivas y significativas del rendimiento lácteo por vaca con el tiempo de ordeña y los deslizamientos de pezoneras.

En contraposición al estudio recién citado, los resultados de Hickman (1964) no muestran una relación entre el DPE 1/2 y la producción de leche acumulada a los 180 días de lactancia. De acuerdo a otros autores (Seykora y McDaniel, 1985b; 1986), el tamaño del pezón (longitud y diámetro), no afectaría de manera importante características de importancia económica, como la producción de leche y producción de grasa, madurez equivalente.

Al igual que en el caso de DPE B, los resultados presentados en el cuadro 78, no mostrarían una verdadera relación entre la PDL y el DPE 1/2. Los aumentos en los promedios de PDL en las categorías de  $2,38 - 2,75$  cm y  $2,75 - 4,25$  cm, también estarían asociados a una disminución de las frecuencias de las vacas Jc en dichas categorías (12,4 y 3,8%, respectivamente), en comparación a la frecuencia correspondiente a la categoría de DPE 1/2 de  $1,63 - 2,38$  cm (35,8%). Paralelamente, al aumentar el DPE 1/2 se incrementaron las frecuencias de vacas del GEN con mayor nivel de PDL (H): 45,3; 66,1 y 75,4%; para las categorías de DPE 1/2  $1,63 - 2,38$ ;  $2,38 - 2,75$  y  $2,75 - 4,25$  cm; respectivamente.

#### 5.10.4. Longitud del pezón

La LPE también mostró un efecto estadísticamente significativo sobre la producción diaria de leche ( $P = 0,0131$ ). No obstante, esta característica morfológica de los pezones no sería una fuente importante de variación del rendimiento lácteo, puesto que contribuiría en menos de un 1% a la variación de la PDL explicada por el modelo.

Al comparar las vacas incluidas en las tres categorías de LPE se determinó un promedio significativamente más bajo de PDL, para las vacas de la categoría con menor LPE, sin encontrarse diferencias a este respecto entre las vacas incluidas en las otras dos categorías (Cuadro 79).

Cuadro 79. Producción diaria de leche por vaca (PDL, kg), según la longitud del pezón (LPE)

LPE (cm)	N	Media $\pm$ E.E.
2,78 – 4,38	272	22,17 $\pm$ 0,49a
4,38 – 5,50	1.326	23,77 $\pm$ 0,42b
5,50 – 10,0	376	24,54 $\pm$ 0,23b

Letras distintas indican diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ )

Estos resultados indican que la relación entre PDL y LPE sería menos aparente que la observada entre los diámetros del pezón (DPE B y DPE 1/2) y la producción diaria de leche por vaca. Ello sería consistente con el análisis de correlación entre la PDL y la LPE, el cual mostró una relación positiva no significativa entre dichas variables ( $r = 0,02$ ;  $P = 0,3712$ ). Este último resultado sería similar al obtenido por Zwervaeagher (2012), quien tampoco encontró una relación significativa entre producción de leche y longitud del pezón.

Por otra parte, los resultados que aparecen en el cuadro 79, también serían consistentes con las distribuciones de frecuencias de los GEN dentro de cada categoría de LPE. Comparadas con lo descrito tanto para el DPE B y el DPE 1/2, las frecuencias de vacas Jc y H no muestran cambios tan marcados a medida que aumenta la LPE de 2,78 – 4,38 a 4,38 – 5,50 y 5,50 – 10,0 cm: 22,6; 17,1 y 11,2% (Jc); y 60,0; 63,9 y 60,9% (H), respectivamente.

Como se señaló, Rogers y Spencer (1991), determinaron relaciones significativas tanto del diámetro de los pezones anteriores como posteriores con el rendimiento lácteo individual, pero sólo verificaron una relación significativa de la longitud de los pezones posteriores con el rendimiento lácteo ( $r = 0,20$ ;  $P < 0,05$ ).

Contrariamente al estudio recién citado, cuyos resultados indicarían una relación positiva entre longitud del pezón y producción de leche por ordeña, Hickman (1964), verificó una relación negativa y estadísticamente significativa entre longitud del pezón y producción de leche hasta los 180 días de lactancia. Sin embargo, al comparar el rendimiento lácteo para las vacas con longitudes de pezón de entre 2,5 – 5,1; 5,1 – 7,6 y 7,6 – 10,2 cm, sólo pudo comprobarse un rendimiento lácteo significativamente mayor para la primera categoría de longitud de los pezones anteriores ( $P < 0,05$ ). Cabe señalar que en el estudio de Hickman (1964), la categoría de mayor longitud de pezón estuvo representada por apenas 6 y 2 observaciones para los pezones anteriores y posteriores, respectivamente.

De acuerdo a otros antecedentes bibliográficos, la longitud del pezón no afectaría de manera importante características productivas como producción de leche y producción de grasa, madurez equivalente (Seykora y McDaniel, 1985b; 1986).

#### **5.10.5. Forma del pezón**

La FPE afectó significativamente la producción diaria de leche ( $P = 0,0002$ ). Al igual que la LPE, esta característica contribuiría en menos de un 1% a la variación de la PDL explicada por el modelo estadístico.

No hubo diferencias significativas en la PDL entre las vacas con pezones en forma de cilindro, FPE NC y cono; obteniéndose un promedio significativamente mayor para las vacas con pezones en forma de pera (Cuadro 80).

Cuadro 80. Producción diaria de leche por vaca (PDL, kg), según la forma del pezón (FPE)

FPE	N	Media ± E.E.
Cilindro	1.142	23,29 ± 0,24a
No Clasificable (NC)	449	23,87 ± 0,38a
Cono	88	23,92 ± 0,86a
Pera	295	26,42 ± 0,47b

Letras distintas indican diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ )

De acuerdo a estos resultados, las vacas con pezones en forma de pera tendrían un mayor nivel de producción diaria de leche que las vacas con las demás formas de pezones, lo que no coincidiría con lo señalado en la literatura. Este resultado no tendría una explicación clara, aunque coincidió que las vacas de mayor PDL (FRxRRL y H), (Cuadro 82); fueron las que exceptuando las vacas FN, presentaron las frecuencias más elevadas de pezones en forma de pera entre todos los genotipos en estudio (Cuadro 59).

Según Seykora y McDaniel (1985b; 1986), tanto la forma del pezón, como su tamaño (longitud y diámetro), y la pigmentación del pezón, no ejercerían un efecto importante sobre las características de importancia económica (producción de leche y producción de grasa, madurez equivalente). Por su parte, Hickman (1964), encontró diferencias pequeñas y no significativas en la producción de leche acumulada a los 180 días de lactancia, al comparar vacas con pezones en forma de cilindro, embudo (cono) y botella (pera).

En contraposición a los resultados del presente estudio, y a los antecedentes bibliográficos recién consignados, en trabajos realizados en Gales con vacas Frisonas, se han descrito diferencias de magnitud importante en la producción diaria de leche entre animales con pezones en forma de embudo (cono) y cilindro (Rathore, 1975; 1976). En el primer estudio, efectuado con un total de 580 vacas, distribuidas en cuatro rebaños, se comprobó que la producción diaria de leche de las vacas con pezones en forma de cono fue significativamente mayor, respecto a la de los animales con pezones cilíndricos; atribuyéndose el efecto de la forma del pezón sobre la producción de leche, al hecho que la frecuencia de trepamiento de las pezoneras fue significativamente mayor en las vacas con pezones cilíndricos que en las con pezones cónicos (27,4 y 8,1%, respectivamente), lo que traería como consecuencia un incremento de la leche residual y una ordeña menos completa

en las vacas con pezones en forma de cilindro (Rathore, 1975). Estos resultados se verían corroborados por los del segundo estudio (Rathore, 1976), donde al comparar 617 vacas con pezones en forma de cono con 592 vacas con pezones cilíndricos, similares en cuanto a edad y etapa de lactancia, se determinaron diferencias significativas en la producción diaria de leche, alcanzando los promedios respectivos a 20,9 y 17,6 kg/día ( $P < 0,01$ ). Ello equivaldría a una superioridad de 18,8% en la producción diaria de leche de las vacas con pezones cónicos, respecto a los animales con pezones cilíndricos.

No se encontraron otros antecedentes bibliográficos que corroboren una superioridad en rendimiento lácteo para los pezones cónicos respecto a los cilíndricos. Como este efecto de la FPE sobre la producción de leche estaría relacionado con el trepamiento de las pezoneras durante el ordeño, probablemente dependerá del diseño de la pezonera utilizada, y sería menos evidente o no se observaría, si se utilizan diseños de pezoneras que minimicen el trepamiento en pezones de otras formas, como en los pezones de tipo cilíndrico.

En contraposición al estudio recién citado, en un trabajo realizado con 94 vacas Brown Swiss (Tilki *et al.*, 2005), no se encontraron diferencias significativas en la producción por lactancia de vacas con pezones cónicos y vacas con pezones cilíndricos. En cambio, y contrariamente a lo observado en el presente estudio, Tilki *et al.* (2005) determinaron una producción real por lactancia significativamente menor en los animales con pezones en forma de pera (botella), en comparación a las vacas con las otras dos formas de pezones; diferencia que no fue significativa al considerar la producción proyectada a 305 días de lactancia.

#### **5.10.6. Forma de la punta del pezón**

La FPU afectó significativamente la producción diaria de leche ( $P < 0,0001$ ). Al igual que las demás características morfológicas de los pezones, la FPU tendría escasa importancia como fuente de variación del rendimiento lácteo, si se considera que contribuiría sólo en un 2% a la variación de la PDL explicada por el modelo estadístico.

En las vacas con FPU plana, la PDL resultó significativamente menor en comparación a los valores determinados en las vacas con FPU redondeada, puntiaguda y NC, las cuales no se diferenciaron entre sí a este respecto (Cuadro 81).

Cuadro 81. Producción diaria de leche por vaca (PDL, kg), según la forma de la punta del pezón (FPU)

FPU	N	Media $\pm$ E.E.
Plana	544	21,59 $\pm$ 0,35a
Redondeada	414	24,13 $\pm$ 0,40b
Puntiaguda	169	25,0 $\pm$ 0,62b
No Clasificable (NC)	847	25,35 $\pm$ 0,28b

Letras distintas indican diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ )

Estos resultados no serían consistentes con los obtenidos por Seykora y McDaniel (1985b), quienes concluyen que la forma de la punta del pezón no se relaciona con el rendimiento lácteo de las vacas. No se encontraron otros estudios referentes a una eventual relación entre producción de leche y forma de la punta del pezón, ni antecedentes bibliográficos que permitieran explicar la menor producción diaria de leche de las vacas con FPU plana, respecto al nivel productivo determinado en las vacas con las demás FPU.

Los resultados obtenidos para la asociación de FPE y FPU (Cuadro 54), no permitirían atribuir la menor PDL determinada en las vacas con FPU plana, a una frecuencia más elevada de esta FPU en las vacas con las FPE de menor producción (Cuadro 80). Tampoco se observó una relación clara entre la FPU plana y el genotipo de las vacas (Cuadro 60), que eventualmente pudiera haber contribuido a explicar la PDL más baja de las vacas con esta FPU.

### 5.10.7. Genotipo

La PDL resultó afectada significativamente por el factor GEN ( $P < 0,0001$ ). De todos los factores analizados, éste parece constituir la fuente más importante de variación del rendimiento lácteo individual, representando un 51% de la variación de la PDL explicada por el modelo.

Los resultados presentados en el cuadro 82, muestran grandes diferencias entre los niveles productivos de los GEN en estudio. El promedio de PDL (kg) de las vacas FR (11,34a), fue más alto que el de las FN (9,8a), pero ambos genotipos no alcanzaron a diferenciarse estadísticamente entre sí ( $P > 0,05$ ); siendo sus promedios de PDL significativamente menores en comparación a los de las vacas Jc, FRxRRL y H, cuyos promedios de PDL fueron significativamente distintos, mostrando los siguientes valores: 14,97b; 17,84c y 28,72d, respectivamente.

Cuadro 82. Producción diaria de leche por vaca (PDL, kg), según el genotipo de las vacas (GEN)

GEN	N	Media $\pm$ E.E.
Frisón Negro (FN)	8	9,80 $\pm$ 2,86a
Frisón Rojo (FR)	132	11,34 $\pm$ 0,70a
Jersey y Cruzas con Jersey (Jc)	377	14,97 $\pm$ 0,42b
Frisón Rojo x Razas Rojas Lecheras (FRxRRL)	107	17,84 $\pm$ 0,78c
Holstein Friesian (H)	1.350	28,72 $\pm$ 0,22d

Letras distintas indican diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ )

Los bajos niveles productivos de las vacas FN y FR reflejarían la característica de doble propósito de ambas razas, así como diferencias en el manejo alimentario respecto a los demás genotipos. Los cruzamientos de las vacas FR con Razas Rojas Lecheras (Holstein Rojo, Rojo Sueca y otras), llevarían a incrementos de magnitud importante en su nivel productivo, como el evidenciado en el presente estudio, donde el GEN FRxRRL superó en un 57% al FR en producción diaria de leche. Como era de esperar, las vacas H se ubicaron en primer lugar en cuanto a PDL, estableciéndose grandes diferencias en comparación a las vacas de otros genotipos, aunque debe tenerse presente que el nivel productivo de los rebaños H puede variar ampliamente, dependiendo principalmente de su ubicación geográfica y sistema productivo utilizado.

### 5.10.8. Número ordinal de parto

Como era esperable, el NOP ejerció un efecto significativo sobre la PDL ( $P < 0,0001$ ). Sin embargo, este factor no sería una fuente importante de variación de la producción láctea individual, porque contribuiría apenas en un 1% a la variación de la PDL explicada por el modelo estadístico. Ello indicaría que el efecto del NOP sobre la PDL fue comparativamente muy inferior al de otros factores incluidos en el modelo, tales como los factores GEN, DEL y SP, los cuales mostraron en el presente estudio los mayores efectos sobre la PDL.

Aunque estadísticamente significativas, las diferencias entre los promedios de PDL correspondientes a cada una de las categorías de NOP fueron relativamente pequeñas (Cuadro 83). En promedio, las vacas de  $\text{NOP} \geq 3$  produjeron 1,12 y 2,93 kg diarios más de leche que las de NOP 2 y 1, lo que equivale respectivamente a un 5 y 13% de superioridad en PDL. La diferencia entre los animales de NOP 1 y 2 alcanzó a 1,81 kg, equivalente a un 8% de mayor PDL para las vacas de NOP 2.

Cuadro 83. Producción diaria de leche por vaca (PDL, kg), según el número ordinal de parto de las vacas (NOP)

NOP	N	Media $\pm$ E.E.
1	576	22,25 $\pm$ 0,34a
2	495	24,06 $\pm$ 0,36b
$\geq 3$	903	25,18 $\pm$ 0,27c

Letras distintas indican diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ )

La producción de leche por vaca tiende a aumentar, en una proporción cada vez menor, hasta aproximadamente los 8 años de edad, siendo relativamente poco importante el incremento que ocurre después de los 5 años de edad. Una vez alcanzada la producción máxima, ésta disminuye con el transcurso de la edad en una proporción creciente. La velocidad de descenso de la producción es más lenta que la velocidad de incremento (Smith, 1962).

Considerando estos antecedentes, cabría suponer que las diferencias en producción de leche entre las tres categorías de NOP analizadas, deberían haber sido más notorias que las observadas en el presente estudio. Ello ocurriría porque los promedios de PDL de los NOP 1 y 2 se habrían visto influenciados de manera importante por los niveles productivos de las vacas manejadas en confinamiento (promedio de NOP = 1,99), cuya PDL fue mucho más elevada que la de las vacas manejadas en sistemas productivos basados en el pastoreo (Cuadro 86), donde el promedio de NOP alcanzó un valor de 2,95.

### 5.10.9. Días en lactancia

La PDL fue afectada significativamente por los DEL ( $P < 0,0001$ ), lo que también estaría dentro de lo esperado. El efecto de este factor sobre la producción láctea individual fue mucho más evidente que el observado para el NOP y constituiría una fuente importante de variación de la PDL, puesto que representaría un 19% de la variación de la PDL explicada por el modelo.

Durante el primer, segundo y tercer período en que se dividió la lactancia, los promedios de PDL alcanzaron los siguientes valores (kg): 28,50c; 27,09b y 19,38a, respectivamente (Cuadro 84). De los resultados, se desprende que la producción diaria de leche por vaca mostró un patrón de disminución con el transcurso de la lactancia, caracterizado por un descenso leve entre los dos primeros períodos (1,41 kg o 5%), seguido por una reducción marcada entre el segundo y tercer período de lactancia (7,71 kg o 28%).

Cuadro 84. Producción diaria de leche por vaca (PDL, kg), según los días en lactancia de las vacas (DEL)

DEL	N	Media $\pm$ E.E.
$\leq 100$	576	28,50 $\pm$ 0,26c
101- 200	420	27,09 $\pm$ 0,40b
> 200	978	19,38 $\pm$ 0,34a

Letras distintas indican diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ )

Al momento del parto la producción de leche se inicia a un nivel relativamente alto, para seguir aumentando hasta alcanzar el máximo de producción diaria aproximadamente durante las 3 a 6 semanas de lactancia, o algo más tardíamente en las vacas de alta producción. Después de alcanzado el máximo, la producción diaria decrece gradualmente hasta el término de la lactancia (Foley *et al.*, 1972). Los resultados presentados en el cuadro 84 reflejan la forma de la curva de lactancia, pero denotan una declinación mucho más marcada de la producción diaria entre el segundo y tercer período de lactancia, en comparación a la declinación observada entre el primer y segundo período.

#### **5.10.10. Recuento de células somáticas**

El Ln RCS afectó significativamente la PDL ( $P < 0,0001$ ). Este factor representaría un 4% de la variación de la PDL explicada por el modelo estadístico. Ello indica que el efecto del recuento celular sería menos evidente en comparación al de los factores GEN, DEL y SP, los cuales corresponderían a las principales fuentes de variación de la PDL, reflejando probablemente las grandes diferencias observadas en la PDL dentro de cada uno de estos factores. Aunque el modelo estadístico utilizado para la PDL es distinto e incluye más factores que los analizados para la misma variable dependiente por Pedraza *et al.* (1994a), el valor obtenido para el coeficiente de determinación del Ln RCS ( $r^2 = 0,04$ ), se asemeja al de los coeficientes de determinación del Ln RCS calculados por dichos autores en animales de primera, y segunda y más lactancias ( $r^2 = 0,02$ ;  $P < 0,0001$  y  $r^2 = 0,01$ ;  $P < 0,0001$ , respectivamente).

Los resultados presentados en el cuadro 85, denotan una relación negativa entre producción láctea individual y recuento de células somáticas. Los promedios de PDL (kg) alcanzaron a 27,45c; 23,34b y 21,62a, en las vacas incluidas en los rangos de Ln RCS de 0,70 – 1,56; 1,56 – 2,39 y 2,39 – 4, respectivamente; siendo todas las diferencias estadísticamente significativas. Tomando como base el menor rango de Ln RCS (0,70 – 1,56), las reducciones en la PDL para las vacas ubicadas en los rangos de Ln RCS 1,56 – 2,39 y 2,39 – 4 alcanzarían en promedio a 4,11 kg (15%) y 5,83 kg (21%), respectivamente.

Cuadro 85. Producción diaria de leche por vaca (PDL, kg), según el recuento de células somáticas de las vacas (Ln RCS)

Ln RCS	N	Media ± E.E.
0,70 – 1,56	505	27,45 ± 0,36c
1,56 – 2,39	975	23,34 ± 0,26b
2,39 – 4,00	494	21,62 ± 0,36a

Letras distintas indican diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ )

Adicionalmente, para evaluar la relación entre PDL y RCS, se efectuó un análisis de regresión simple entre PDL y los recuentos individuales transformados logarítmicamente a puntajes de células somáticas (PCS). Además de normalizar la distribución de frecuencias del RCS (Ali y Shook, 1980), el PCS permite estimar apropiadamente la relación entre producción de leche y recuento celular, estableciendo una relación lineal entre ambas variables, la cual debe interpretarse como una reducción de igual magnitud en el rendimiento lácteo, por cada unidad de incremento del PCS dentro de las 10 categorías de esta escala lineal de puntaje, cuyos valores fluctúan entre 0 y 9. El puntaje 0 corresponde a un RCS de 12.500 cél/ml, cuyo valor se va duplicando sucesivamente por cada unidad de incremento del PCS (NMC, 1996).

La Fig. 1 muestra los resultados del análisis de regresión entre la variable PDL y el PCS para el total de vacas en estudio. De acuerdo a este análisis, por cada unidad de incremento en el PCS, la PDL disminuye en 0,97 kg ( $P < 0,0001$ ;  $r^2 = 0,02$ ).

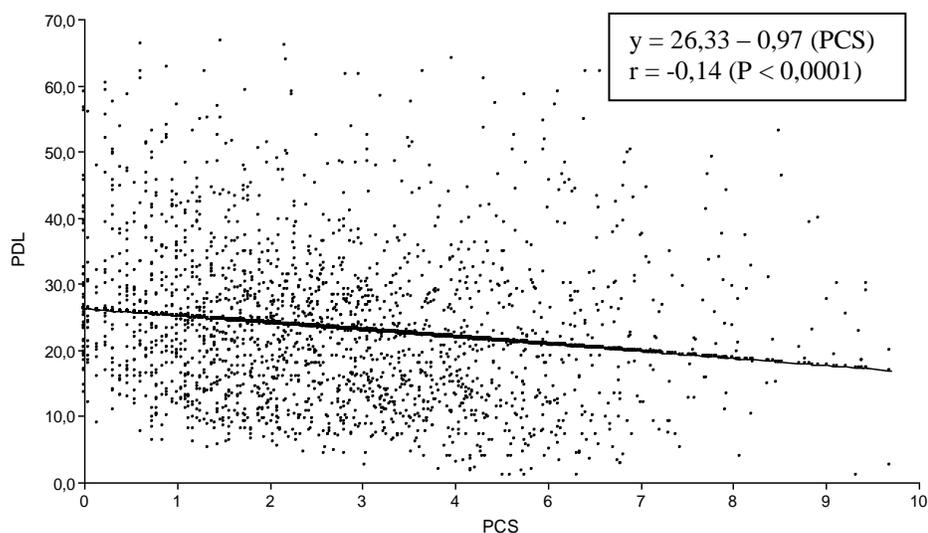


Figura 1. Regresión entre producción diaria de leche (PDL, kg) y puntaje de células somáticas (PCS), para el total de vacas en estudio.

En el caso de las vacas de NOP 1 (Fig. 2), la PDL disminuye en 0,37 kg por cada unidad de incremento en el PCS, aunque dicho descenso no sería estadísticamente significativo ( $P < 0,1505$ ;  $r^2 = 0,004$ ). En las vacas de  $NOP \geq 2$  (Fig. 3), se determinó una reducción de 1,32 kg, por cada unidad de incremento en el PCS, la cual fue estadísticamente significativa ( $P < 0,0001$ ;  $r^2 = 0,04$ ).

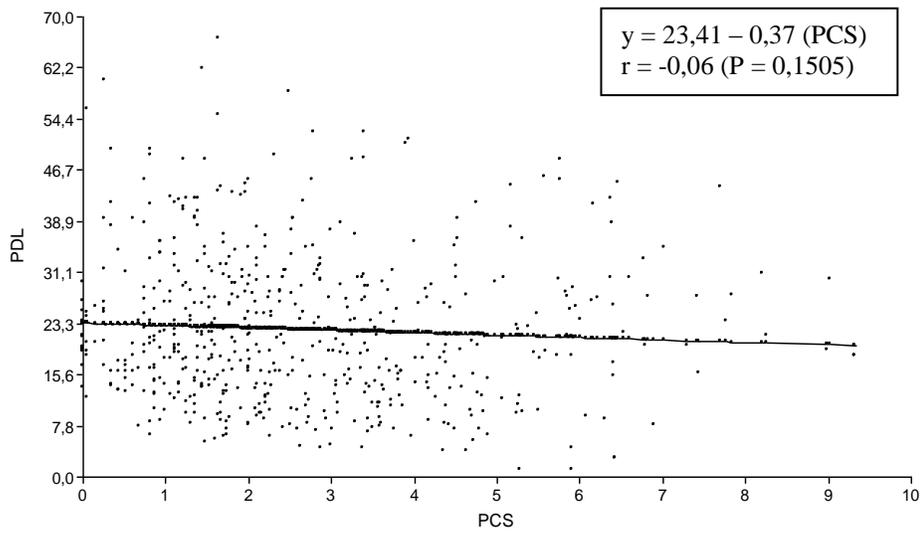


Figura 2. Regresión entre producción diaria de leche (PDL, kg) y puntaje de células somáticas (PCS), para vacas de primer parto (NOP 1).

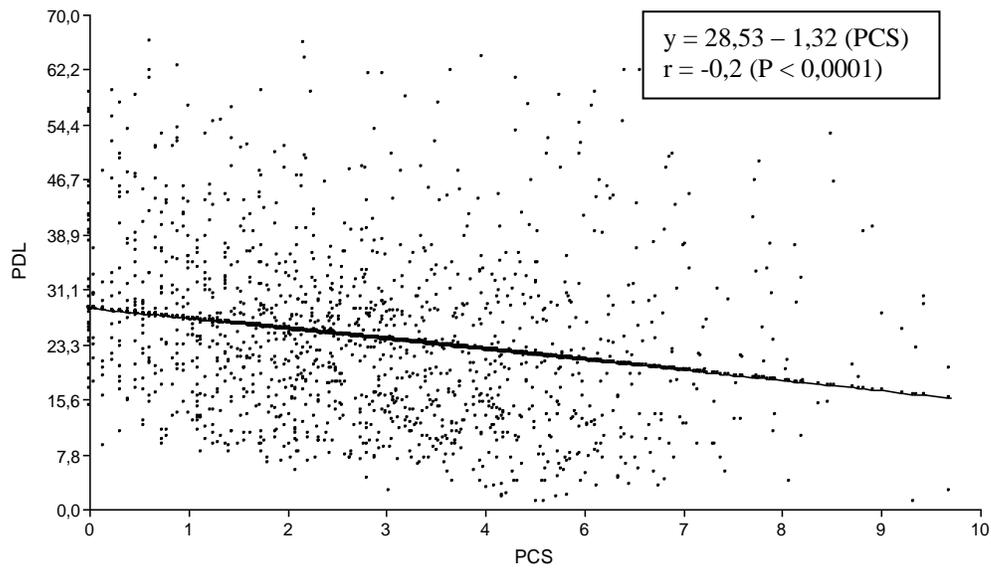


Figura 3. Regresión entre producción diaria de leche (PDL, kg) y puntaje de células somáticas (PCS), para vacas de  $NOP \geq 2$ .

En el caso de las vacas de NOP 2, la PDL disminuye en 1,13 kg por cada unidad de incremento en el PCS, siendo este descenso estadísticamente significativo ( $P = 0,0003$ ;  $r^2 = 0,026$ ). En las vacas de  $NOP \geq 3$ , se determinó una reducción de 1,50 kg, por cada unidad de incremento en el PCS, la cual también fue estadísticamente significativa ( $P < 0,0001$ ;  $r^2 = 0,056$ ).

Las relaciones negativas evidenciadas entre PDL y Ln RCS (Cuadro 85), así como entre PDL y PCS (Figs. 1, 2 y 3), indican que el aumento del RCS individual se asocia a una reducción significativa de la PDL; lo que, exceptuando los resultados obtenidos para las vacas de primera lactancia, coincide con lo informado en la literatura internacional, tanto para la producción diaria de leche (Miller *et al.*, 1983; Dohoo *et al.*, 1984; Jones *et al.*, 1984; Ng-Kwai-Hang *et al.*, 1984; Salsberg *et al.*, 1984; Batra, 1986; Tyler *et al.*, 1989; Bartlett *et al.*, 1990; Miller *et al.*, 2004; Hagnestam-Nielsen *et al.*, 2009), como para la producción por lactancia (Raubertas y Shook, 1982; Salsberg *et al.*, 1984; Serieys, 1985; Batra, 1986; Youl y Nichols, 1987; Miller *et al.*, 2004; Hagnestam-Nielsen *et al.*, 2009), y concuerda también con los resultados de dos investigaciones nacionales referentes a pérdidas en producción diaria de leche (Pedraza *et al.*, 1994a; Barría y Jara, 2000) y otra sobre pérdidas en producción por lactancia (Pedraza *et al.*, 1994b).

Con excepción de las hembras de primera lactancia (Fig. 2), los coeficientes de correlación calculados para la regresión entre PDL y PCS para el total de vacas en estudio (Fig. 1) y las vacas de dos o más lactancias (Fig. 3): -0,14 y -0,20; respectivamente, alcanzaron valores similares a los de los coeficientes de correlación determinados en otros estudios para la regresión lineal entre producción diaria de leche y LnRCS:  $r = -0,14$  tanto en primíparas como en multíparas (Pedraza *et al.*, 1994a),  $r = -0,16$  en animales de todas las lactancias (Ng-Kwai-Hang *et al.*, 1984), y  $r = -0,19$  y  $r = -0,20$  para hembras de primera y segunda o más lactancias, respectivamente (Tyler *et al.*, 1989).

De lo anterior se desprende que la variación del RCS explicaría una proporción relativamente baja de la variación experimentada por la PDL, confirmando lo establecido en el modelo estadístico que incluyó el LnRCS como variable categórica, en el sentido que

la producción es afectada primariamente por factores distintos a la mastitis, cuando ésta se evalúa en términos de RCS. Los coeficientes de correlación representarían una relación promedio entre PDL y RCS, que no considera el tipo ni la duración de las infecciones intramamarias, factores que incidirían de manera importante en su magnitud. Al respecto, cabe citar a Serieys (1985), quien determinó un coeficiente de correlación de -0,28 entre producción por lactancia y LnRCS ( $P \leq 0,01$ ), obteniendo valores del orden de -0,5 para dicha relación en animales infectados con patógenos mayores ( $P \leq 0,05$ ), y correlaciones no significativas en vacas libres de infecciones intramamarias o infectadas por patógenos menores.

La disminución de 0,97 kg en la PDL asociada a cada unidad de incremento en el PCS, estimada para el total de vacas en estudio (Fig. 1), supera los valores determinados en dos trabajos nacionales (Pedraza *et al.*, 1994a; Barría y Jara, 2000). Ello podría reflejar diferencias en lo referente a número de datos y metodologías estadísticas utilizadas, además del mayor rendimiento lácteo de las vacas de los rebaños en estudio, cuyo promedio de PDL alcanzó a 23,33 kg, en comparación al existente en la épocas en que se efectuaron las investigaciones recién citadas.

Pedraza *et al.* (1994a), estudiaron 5 rebaños ubicados en distintas regiones del país, los cuales aportaron un total de 1.000 vacas en lactancia (Holstein, Frisón Negro y cruza de ambas razas), con promedios de producción por lactancia que fluctuaron entre 5.250 y 7.000 kg durante el período evaluado (junio de 1990 a abril de 1993), disponiéndose en la base de datos final de 18.247 observaciones. La disminución promedio en PDL estimada en dicho estudio, por cada unidad de aumento en la escala de PCS, fue de 0,40 kg en primíparas y 0,51 kg en multíparas. El trabajo de Barría y Jara (2000), se basó en 298.007 controles correspondientes a 32.668 lactancias, provenientes de 76 rebaños con Control Lechero Oficial de COOPRINSEM entre 1995 y 1997, con un promedio de producción diaria de leche por vaca de 21,54 kg, ubicados principalmente en las Regiones IX y X, y en la actual Región XIV. Aunque no se especifica el genotipo de las vacas, éste correspondería principalmente a cruza de Frisón Negro x Holstein, con diversos grados de incorporación de la última raza; indicándose para el origen del padre los países de procedencia del semen

Holstein y el agrupamiento de los toros nacionales de inseminación artificial según su porcentaje de genes Holstein. Los resultados correspondientes al total de lactancias analizadas, indicaron que la producción diaria de leche disminuía en 0,5 kg, por cada unidad de aumento del puntaje lineal de células somáticas.

Por otra parte, los descensos estimados para la PDL en el presente estudio, asociados a cada unidad de aumento del PCS, también serían en general de mayor magnitud que los informados en algunas investigaciones realizadas en otros países. Batra (1986) determinó una disminución de 0,5 kg en la PDL por unidad de incremento en el PCS, la cual alcanzó una cifra algo superior en animales de dos y más lactancias (0,7 kg). Las estimaciones de Jones *et al.* (1984), realizadas en conjunto para rebaños de mediana y baja producción (< 7.700 kg), indican un descenso lineal en la PDL de 0,36 y 0,72 kg por unidad de aumento del PCS, en hembras de primera, y de dos o más lactancias, respectivamente.

Análogamente a lo observado en el presente estudio, Barría y Jara (2000), comprobaron que las pérdidas productivas asociadas a cada unidad de incremento del PCS, fueron mayores a medida que aumentaba el número ordinal de parto: -0,33; -0,51 y -0,60 kg de producción diaria de leche, para vacas de NOP 1, 2 y  $\geq 3$ , respectivamente. Utilizando los datos de RCS transformados a Ln RCS, Bartlett *et al.* (1990), estimaron que para un mismo nivel de recuento celular, las pérdidas en producción diaria de leche alcanzarían a 0,92 y 1,52 kg, en vacas de primera, y de segunda y más lactancias, respectivamente; diferencia que representaría un 65% más de pérdidas productivas en las multíparas. Los resultados ya mencionados de Jones *et al.* (1984), indican un descenso claramente superior en la producción diaria de leche para animales de 2 o más lactancias, cuyas pérdidas productivas por unidad de aumento del Ln RCS duplicaron a las estimadas en animales de primera lactancia; mostrando una situación similar a la descrita para la producción por lactancia por Raubertas y Shook (1982), quienes también demostraron que a un mismo nivel de RCS, las vacas multíparas experimentarían el doble de pérdidas que las primíparas, estimando las pérdidas en producción por lactancia por unidad de incremento en el promedio del LnRCS, en 135 kg para la primera lactancia y 270 kg para las demás lactancias. Análogamente, Miller *et al.* (2004) obtuvieron coeficientes de regresión de -125 kg (NOP 1) y -266 kg

(NOP 2), entre la producción por lactancia estandarizada y el promedio de PCS de cada lactancia. De acuerdo a las estimaciones de Hagnestam-Nielsen *et al.* (2009), la pérdida en producción diaria de leche para un aumento dado del RCS, alcanzó casi el doble de magnitud en las multíparas respecto a las primíparas; en tanto que la pérdida en producción hasta los 305 días de lactancia, en una lactancia promedio afectada por mastitis subclínica, fue casi 3 veces mayor en las vacas multíparas.

En contraposición a los trabajos recién citados, en otras investigaciones no se aprecian tantas diferencias entre vacas primíparas y multíparas, en las pérdidas productivas asociadas al incremento del RCS. Así, por ejemplo, en el estudio de Pedraza *et al.* (1994a), se determinaron los siguientes coeficientes de regresión lineal para la producción diaria de leche, en primíparas y multíparas, respectivamente: -0,61 y -0,73 kg por unidad de aumento del LnRCS, y -0,40 y -0,51 kg por unidad de aumento del PCS. Tyler *et al.* (1989), estimaron descensos de 0,89 y 1,11 kg en la producción diaria de leche de vacas primíparas y multíparas, respectivamente, por cada unidad de incremento del LnRCS. Las estimaciones de Batra (1986), tampoco muestran grandes diferencias en las pérdidas en producción diaria de leche entre vacas primíparas y multíparas: 0,66 y 0,92 kg por unidad de aumento del LnRCS, y 0,5 y 0,7 kg por unidad de aumento del PCS, respectivamente.

Según Bartlett *et al.* (1990), las diferencias en pérdidas productivas entre vacas primíparas y multíparas podrían estar relacionadas con el nivel productivo de los rebaños. Analizando los resultados de Jones *et al.* (1984), dichos autores sostienen que la diferencia en la pérdida productiva asociada al incremento del RCS fue muy evidente en los rebaños de baja producción por lactancia (< 6.500 kg), pero poco notoria en los grupos de rebaños de producción media (6.500 a 7.700 kg) y alta (>7.700 kg). Bartlett *et al.* (1990), agregan que como el 84% de los rebaños de su estudio estaba dentro de los niveles productivos medio o alto definidos por Jones *et al.* (1984), sus estimaciones de pérdidas productivas habrían mostrado menos diferencias entre primíparas y multíparas, en comparación a los resultados obtenidos por Jones *et al.* (1984).

Con respecto a los niveles de recuento en que comienzan a ocurrir descensos significativos o relevantes en la producción de leche, éstos alcanzarían una magnitud importante a niveles relativamente bajos (Miller *et al.*, 1983; Pedraza *et al.*, 1994a), estableciéndose en términos prácticos que para la producción por lactancia ello ocurre a partir de un recuento de 100.000 cél/ml, equivalente a un PCS = 3 (NMC, 1996). El mismo valor de RCS y PCS se utiliza en el CLO de COOPRINSEM para estimar pérdidas en producción diaria de leche, las que alcanzarían a 1,5 kg en vacas de cualquier número ordinal de lactancia, lo que supone un descenso lineal de aproximadamente 0,5 kg en la producción diaria de leche, por cada unidad de aumento en los niveles previos y posteriores de PCS (COOPRINSEM, 2009). De acuerdo a los resultados del análisis de regresión entre las variables PDL y PCS para el total de vacas en estudio (Fig. 1), por cada unidad de incremento en el PCS, la PDL disminuiría en 0,97 kg ( $P < 0,0001$ ;  $r^2 = 0,02$ ); lo que implicaría un descenso de aproximadamente 2,9 kg para un PCS = 3 (100.000 cél/ml).

Como se mencionó, el mayor rendimiento lácteo de las vacas de los rebaños en estudio, podría explicar en parte que las estimaciones de pérdidas en PDL asociadas a cada unidad de incremento del PCS, hayan resultado en general más elevadas que las informadas en la literatura nacional e internacional. Ello sería compatible con lo descrito por Barría y Jara (2000), quienes determinaron un aumento en el valor de los coeficientes de regresión entre producción diaria de leche y PCS, a medida que se incrementaba el nivel productivo de los rebaños, concluyendo que las pérdidas productivas prácticamente se duplicaban, al comparar el nivel productivo más bajo ( $< 5.700$  kg), con el más alto ( $> 7.400$  kg): 0,33 y 0,64 kg, respectivamente. Miller *et al.* (2004) señalan que sus estimaciones de pérdidas productivas asociadas al aumento del RCS, superaron entre 35 a 45% a las de Raubertas y Shook (1982), lo que según los autores podría deberse a que el rendimiento lácteo de los rebaños incluidos en su estudio, era aproximadamente un 50% más elevado en relación al trabajo citado. Sin embargo, Jones *et al.* (1984), basados en la similitud de los coeficientes de regresión lineal entre PDL y PCS de rebaños con distintos niveles productivos, determinados tanto en primíparas como en multíparas, sugieren que las diferencias en los rendimientos lácteos asociadas al incremento del RCS, no se deberían a diferencias productivas entre los rebaños. Los coeficientes de regresión lineal obtenidos por dichos

autores, para los rebaños de nivel productivo alto, medio y bajo, alcanzaron respectivamente los siguientes valores: -0,43, -0,52 y -0,39 (primera lactancia), y -0,85, -1,03 y -1,03 (segunda y más lactancias).

La ausencia de una relación significativa entre PDL y PCS, evidenciada en el presente estudio en vacas de primera lactancia (Fig. 2), no es consistente con lo informado en la literatura y no sería atribuible a un eventual bajo nivel de RCS individual en este grupo de animales (Cuadro 72). La explicación más probable de este resultado, estaría dada por las diferencias existentes entre sistemas productivos, tanto en lo referente a nivel de producción láctea como de RCS individual. Del total de vacas de NOP 1 con datos de PDL y RCS, un 33,6; 8,7 y 57,7% pertenecían a los sistemas en confinamiento, mixto y basados en el pastoreo, respectivamente. El promedio aritmético de PDL y el promedio geométrico de RCS, correspondientes respectivamente a las vacas primíparas de dichos sistemas alcanzaron a 32,5 kg y 112.200 cél/ml; 29,3 kg y 81.900 cél/ml, y 20,5 kg y 47.860 cél/ml.

Estos resultados corroborarían lo establecido al analizar los efectos del factor SP sobre la PDL y el RCS en el total de animales, independientemente del NOP (Cuadros 86 y 75, respectivamente), e indicarían que el aumento de la PDL según SP, se vio acompañado también de un incremento en el RCS. Debido a su mayor longevidad respecto a los sistemas productivos en confinamiento, los rebaños de los sistemas basados en el pastoreo tuvieron una baja representación de vacas primíparas (23,3%), razón por la cual la mayor parte de los datos de estos animales correspondió a niveles productivos elevados y a altos valores de RCS, lo que habría dificultado evidenciar una relación negativa significativa en las regresiones entre PDL y PCS, para el total de vacas de primera lactancia (Fig. 2). En cambio, en las vacas de  $\text{NOP} \geq 2$ , las diferencias en PDL y RCS entre SP fueron menos notorias que en los animales de NOP 1: 36,5 kg y 165.950 cél/ml; 34,8 kg y 109.650 cél/ml, y 25,3 kg y 104.710 cél/ml, para los sistemas en confinamiento, mixto y basados en el pastoreo, respectivamente. Además, dentro del total de las vacas de  $\text{NOP} \geq 2$ , los sistemas de mayor PDL y RCS tuvieron una representación menor que la observada para el grupo de NOP 1 (14,8 y 6,6%; para los sistemas en confinamiento y mixto,

respectivamente), aumentando en este grupo de animales la importancia relativa de las vacas manejadas a pastoreo (78,6%).

Como ya se señaló, las diferencias metodológicas entre estudios pueden afectar la magnitud de las estimaciones de pérdidas productivas asociadas al incremento del RCS y contribuir a explicar la variabilidad de los resultados de las investigaciones que han abordado este tema. De acuerdo a Bartlett *et al.* (1990), debido a que decisiones de manejo importantes en materia de rentabilidad de la prevención y control de la mastitis, se basan en la relación entre la producción de leche y el RCS, es conveniente confirmar esta relación con diferentes técnicas analíticas para distintas zonas geográficas y sistemas productivos.

Para estimar lo más exactamente posible el efecto de la mastitis subclínica sobre la producción de leche, a través de la relación entre producción y recuento de células somáticas, es necesario considerar los efectos de otros factores que afecten de manera importante la producción de leche. Alguno de estos factores, como NOP, DEL y GEN fueron incluidos en el modelo estadístico para PDL utilizado en el presente estudio. Sin embargo, no debe perderse de vista que el objetivo principal de este modelo fue analizar el efecto que pudieran tener las características morfológicas de los pezones sobre la PDL, estudiándose complementariamente la relación de la PDL con el Ln RCS.

En consecuencia, las estimaciones realizadas en el presente estudio, en lo referente a pérdidas en PDL asociadas al incremento del RCS, deben ser consideradas como resultados preliminares, que indicarían pérdidas productivas más elevadas en comparación a los valores informados en la literatura nacional. Estudios de tipo longitudinal o retrospectivo, con un mayor número de rebaños y animales, permitirían estimar con más precisión la relación entre producción de leche y recuento celular, al posibilitar la inclusión de otros factores de variación de la producción, tales como nivel productivo de los rebaños, mes de parto de las vacas, efecto del año-estación de parto, efecto de las infecciones intramamarias, casos concomitantes de mastitis clínica dentro de una misma lactancia y posibles efectos de dilución celular.

### 5.10.11. Sistema productivo

El SP afectó significativamente la PDL ( $P < 0,0001$ ). Su efecto sería similar al del factor DEL, dado que contribuiría en un 18% a la variación de la PDL explicada por el modelo estadístico.

Los resultados estarían dentro de lo esperable, ya que el promedio más elevado de PDL (kg) correspondió al sistema de producción en confinamiento (34,82c) y el más bajo a los sistemas basados en el pastoreo (19,87a), obteniéndose un valor intermedio para el sistema mixto (31,77b), cuya comparación con los otros dos sistemas podría verse limitada porque dicho sistema estuvo representado por un solo rebaño (Cuadro 86). Todas las diferencias entre sistemas fueron estadísticamente significativas, observándose la mayor diferencia al comparar los sistemas basados en el pastoreo con el sistema en confinamiento (14,95 kg o 75% más de PDL para el segundo sistema).

Cuadro 86. Producción diaria de leche por vaca (PDL, kg), según el sistema productivo de las vacas (SP)

SP	N	Medias $\pm$ E.E.
Pastoreo	1.434	19,87 $\pm$ 0,22a
Mixto	143	31,77 $\pm$ 0,68b
Confinamiento	397	34,82 $\pm$ 0,41c

Letras distintas indican diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ )

El promedio de PDL de las vacas del sistema en confinamiento, se obtuvo a partir de 5 rebaños H ubicados en las Regiones IV, V, Metropolitana y VIII. La PDL del sistema mixto de producción corresponde a un rebaño ubicado en la VIII Región, integrado también por vacas de raza H. Los sistemas basados en el pastoreo, ubicados en las Regiones VIII, IX, XIV y X, fueron los que estuvieron mayormente representados (24 rebaños). Once de estos rebaños estaban integrados por vacas H, cuyo promedio de PDL alcanzó 24,37 kg, siendo aproximadamente 10 kg más bajo que el promedio de PDL correspondiente al GEN H manejado en confinamiento. No obstante, las comparaciones entre genotipos dentro de los sistemas basados en el pastoreo, mostrarían una clara superioridad de las vacas H respecto a las FN, FR, FRxRRL y Jc, cuyos promedios de PDL aparecen en el cuadro 82.

Estos resultados serían compatibles con la información del CLO de COOPRINSEM, correspondiente al año 2009 (Quichiyao, 2010), la cual muestra promedios mayores de producción real por lactancia para las Regiones VIII (10.492 kg) y Metropolitana (12.123 kg), donde se utilizan fundamentalmente sistemas de producción en confinamiento, principalmente con vacas Holstein de alta producción y raciones basadas en alimentos concentrados; comparadas con las Regiones IX (9.924 kg) y X - XIV (7.466 kg), cuyos sistemas productivos se basan en el pastoreo y una mayor diversidad de razas, incluyendo distintos biotipos de ganado Holstein.

Por otra parte, las diferencias observadas en el presente estudio entre sistemas productivos, en lo referente a producción diaria de leche, también serían consistentes con los antecedentes productivos que aparecen en la caracterización de sistemas de producción de leche en diferentes macrozonas homogéneas de Chile (Lanuza, 2012). En dicho estudio, se entrega información detallada sobre producción de leche por lactancia, producción de leche por hectárea, base forrajera, uso de concentrado y subproductos, y principales genotipos utilizados en distintos sistemas de producción de leche por cada macrozona. Tanto Lanuza (2012), como Lama *et al.* (2010) y Winkler *et al.* (2011), describen una diversidad de sistemas productivos basados en el pastoreo, los cuales se diferencian principalmente en la intensidad del proceso productivo y la proporción de pradera consumida directamente como pastoreo, pudiendo encontrarse diferencias importantes en cuanto al genotipo de los animales utilizados y los rendimientos productivos de cada sistema.

## 6. CONCLUSIONES

Los promedios y la variabilidad de las características morfológicas cuantitativas del pezón, se ubicarían dentro del rango de valores informados en la literatura, determinándose bajas frecuencias de valores extremos para la LPE, el DPE B y el DPE 1/2.

Las variables morfológicas cuantitativas se relacionaron positivamente, correspondiendo la correlación más elevada a la del DPE B y el DPE 1/2, observándose una relación algo más evidente de la LPE con el DPE B que con el DPE 1/2.

Las FPE y FPU predominantes fueron las cilíndrica y plana, respectivamente; presentando un tercio de las vacas DPEA no deseables, principalmente DPEA hacia afuera.

Todos los factores incorporados al Modelo 1 mostraron un efecto significativo sobre la LPE, entre los que la POP fue el que mayormente afectó dicha característica, contribuyendo en menor medida el factor REB, siendo la FPU, la FPE y el GEN fuentes de variación poco relevantes de la variación explicada por el modelo.

Con excepción de la DPEA, todos los factores incluidos en el Modelo 2 afectaron significativamente la LPE, representando el NOP, la FPE y la FPU la mayor parte de la variación de la característica, contribuyendo en menor medida y en orden decreciente de importancia los factores GEN, SP, DEL y REG.

Los pezones anteriores mostraron una mayor LPE que los posteriores, alcanzando la diferencia entre ambos promedios una magnitud importante.

El menor promedio de LPE fue el de los pezones cilíndricos, obteniéndose un valor intermedio para los pezones en forma de pera y el más elevado en los cónicos.

El ordenamiento de menor a mayor de la LPE, según la FPU, fue pezones con FPU plana, redondeada y puntiaguda.

La LPE aumentó con el incremento del NOP, sin observarse grandes diferencias en los aumentos registrados entre los NOP 1 y 2, y los NOP 2 y  $\geq 3$ .

Todos los factores incorporados al Modelo 1 afectaron significativamente el DPE B, principalmente el GEN y la FPE, seguidos de los factores POP y REB, contribuyendo en escasa medida la FPU a la variación de esta característica.

Exceptuando los DEL, todos los factores incluidos en el Modelo 2 afectaron significativamente el DPE B, siendo el GEN la fuente de variación más importante, seguida de la FPE y el NOP, representando los factores SP, REG, DPEA y FPU una baja proporción de la variación de la característica explicada por el modelo.

El DPE B de los pezones anteriores superó al de los posteriores, siendo la diferencia menos evidente que la observada para la LPE, pero más aparente que para el DPE 1/2.

Las vacas Jc y FN, fueron las de menor y mayor DPE B, respectivamente.

El menor DPE B correspondió a los pezones cilíndricos, determinándose un valor intermedio en los pezones en forma de pera y el más elevado en los cónicos.

El DPE B aumentó al incrementarse el NOP, siendo dicho aumento más evidente entre los NOP 2 y  $\geq 3$ , que entre los NOP 1 y 2.

Todos los factores del Modelo 1 afectaron significativamente el DPE 1/2, correspondiendo los efectos más relevantes a los factores GEN, REB y FPE; contribuyendo la POP y la FPU en mucha menor medida a la variación de la característica explicada por el modelo.

Con excepción de la DPEA, todos los factores del Modelo 2 ejercieron efectos significativos sobre el DPE 1/2, representando el GEN, la FPE y el NOP gran parte de la variación de la característica explicada por el modelo, contribuyendo en menor medida los factores SP, FPU, REG y DEL.

Al igual que para el DPE B, el menor y mayor DPE 1/2 correspondieron a las vacas Jc y FN, respectivamente.

De acuerdo a los dos modelos estadísticos, el menor DPE 1/2 correspondió a los pezones cilíndricos, pero sus resultados fueron contrapuestos en cuanto a las diferencias entre las FPE pera y cono.

El DPE 1/2 aumentó moderadamente al incrementarse el NOP, siendo el aumento un poco más evidente entre los NOP 2 y  $\geq 3$ , que entre los NOP 1 y 2.

No se encontró asociación de la DPEA con la FPE ni la FPU, pero sí entre ambas características, principalmente por las distintas frecuencias de FPU de los pezones cónicos respecto a las otras categorías de FPE.

Se determinó asociaciones de las características FPE y FPU con el factor POP, presentando los pezones posteriores una frecuencia más elevada de pezones en forma de pera y los anteriores una mayor frecuencia de pezones con FPU NC.

Las tres características morfológicas cualitativas del pezón serían afectadas de manera importante por la raza o genotipo de las vacas.

No hubo asociación entre FPE y NOP, pero si de éste con la FPU y DPEA, evidenciándose para ambas características patrones de variación que no estarían dentro de lo esperable.

El RCS no se vio afectado significativamente por la FPE, FPU, LPE y DPE 1/2, pero si por las características DPEA y DPE B, aunque ambas explicarían una muy baja proporción de la variación del RCS.

Exceptuando la DPEA, las características morfológicas de los pezones afectaron significativamente la PDL, pero representarían en conjunto menos del 10% de la variación de la PDL explicada por el modelo estadístico.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

**AGÜERO, H.** 1988. Aspectos multifactoriales en la etiopatogenia de la afección. **In:** IV Curso Mastitis del Bovino y su Impacto Económico. Santiago, Chile. 24-26 octubre 1988. U. Chile, Fac. Cs. Veterinarias y Pecuarias. pp. 16-39.

**AGÜERO, H.** 2002. Calidad de leche en la X Región. **In:** Seminario Internacional Avances en Control de Mastitis y Mejoramiento de la Calidad de Leche. Puerto Varas, Chile. 10 Septiembre 2002. Osorno, Chile. 11 septiembre 2002. U. Chile, Fac. Cs. Veterinarias y Pecuarias - COOPRINSEM. 28 p.

**AGÜERO, H.; MORAGA, L.; HARDY, G.; MANSILLA, A.** 1986a. Efecto de factores fisiológicos y ambientales sobre la frecuencia de mastitis en vacas de lechería. III. Edad. **In:** VI Congreso Nacional de Medicina Veterinaria. Santiago, Chile. 4-6 diciembre 1986. SA-044.

**AGÜERO, H.; MORAGA, L.; MANSILLA, A.; HARDY, G.** 1986b. Efecto de factores fisiológicos y ambientales sobre la frecuencia de mastitis en vacas de lechería. IV. Etapa de lactancia. **In:** VI Congreso Nacional de Medicina Veterinaria. Santiago, Chile. 4-6 diciembre 1986. SA-045.

**ALI, A.; SHOOK, G.** 1980. An optimum transformation for somatic cell concentration in milk. *J. Dairy Sci.* 63:487-490.

**ANRIQUE, R.** 2005. Evolución de la producción lechera nacional. **In:** 1<sup>er</sup> Seminario Internacional y Exposición del Sector Lácteo. Valdivia, Chile. 26-28 mayo 2005. FEDELECHE. pp. 1-13.

**BAERT, J.; VANGEYTE, J.; MAERTENS, W.; GENBRUGGE, A.; SONCK, B.** 2008. Vision based measuring device for fast and accurate determination of teat morphology on dairy farms. [en línea]  
<[http://www.ilvo.vlaanderen.be/Portals/0/Documents/Nieuwsgolf/NGsept08/Baert\\_etal\\_Ageng.pdf](http://www.ilvo.vlaanderen.be/Portals/0/Documents/Nieuwsgolf/NGsept08/Baert_etal_Ageng.pdf)> [consulta: 10-09-2011].

**BAKKEN, G.** 1981. Relationships between udder and teat morphology, mastitis and milk production in Norwegian red cattle. *Act. Agric. Scand.* 31:438-444.

**BARRIA, N.; JARA, A.** 2000. Relaciones entre el recuento de células somáticas, producción y componentes lácteos en vacas lecheras de la X Región (Chile) utilizando un modelo del día de control. *Av. Prod. Anim.* 25:23-32.

**BARTLETT, P.; MILLER, G.; ANDERSON, C.; KIRK, J.** 1990. Milk production and somatic cell count in Michigan dairy herds. *J. Dairy Sci.* 73:2794-2800.

**BATRA, T.** 1986. Relationship of somatic cell concentration with milk yield in dairy cows. *Can. J. An. Sci.* 66:607-614.

**BAXTER, J.; ROGERS, G.; SPENCER, S.; EBERHART, R.** 1992. The effect of milking machine liner slip on new intramammary infections. *J. Dairy Sci.* 75:1015-1018.

**BELLO, M.** 2011. Evaluación de los tiempos de rutina de trabajo y rendimientos de salas de ordeña espina de pescado, mediante un sistema computacional de análisis y simulación (PASS). Memoria Título Médico Veterinario. Santiago, Chile. U. Chile, Fac. Ciencias Veterinarias y Pecuarias. 185 p.

**BEZAMA, M.** 1991. Mastitis del bovino lechero. Estudio de prevalencia en la Región Metropolitana y descripción de factores asociados con la enfermedad. Memoria Título Médico Veterinario. Santiago, Chile. U. Chile, Fac. Cs Veterinarias y Pecuarias. 217 p.

**BINDE, M.; BAKKE, H.** 1984. Relationships between teat characteristics and udder health. A field study. *Nord. Vet. Med.* 36:111-116.

**BLANLOT, E.** 1999. La rutina de ordeño en la prevención de mastitis. **In:** Curso de Perfeccionamiento. Mejoramiento de la Calidad Higiénica de Leche de Pequeños Productores. Osorno, Chile. 6-8 diciembre 1999. U. Chile, Fac. Cs. Veterinarias y Pecuarias-UFOCO S.A. pp. 85-95.

**BRANDSMA, S., MAATJE, K.** 1980. The relation between different types and makes of pipeline milking machines and the somatic cell count of the herd bulk milk in the Netherlands. **In:** Proceedings of International Workshop on Machine Milking and Mastitis. Cork, Ireland. International Dairy Federation (Moorepark Research Centre). pp. 128-136.

**BRITT, J.; FARNSWORTH, R.** 1996. A system for evaluating teat anatomy, skin condition, and teat ends. **In:** 35<sup>th</sup> NMC Annual Meeting Proceedings. Nashville, Tennessee. 18-21 February 1996. National Mastitis Council. pp. 228-234.

**BROLUND, L.** 1985. Cell counts in bovine milk, causes of variation and application for diagnosis of subclinical mastitis. *Act. Vet. Scand. Suppl.* 80:1-123.

**BUSHNELL, R.** 1988. Importancia de las medidas higiénicas en el control de la mastitis. **In:** IV Curso Mastitis del Bovino y su Impacto Económico. Santiago, Chile. 24-26 octubre 1988. U. Chile, Fac. Cs. Veterinarias y Pecuarias. pp. 154-168.

**CHRYSTAL, M.; SEYKORA, A.; HANSEN, L.** 1999. Heritabilities of teat end shape and teat diameter and their relationships with somatic cell score. *J. Dairy Sci.* 82:2017-2022.

**COBAN, O; SABUNCOUGLU, N.; TUZEMEN, N.** 2009. A study on relationships between somatic cell count (SCC) and some udder traits in dairy cows. *J. Anim. Vet. Adv.* 8:134-138.

**COOPRINSEM, COOPERATIVA AGRICOLA Y DE SERVICIOS LTDA.** 2009. Guía del Usuario Control Lechero Oficial. Osorno, Chile. 70 p.

**CUADRA, E.** 1999. Evaluación de movimientos y tiempos de rutinas de ordeño en lecherías de la provincia de Ñuble. Memoria Título Médico Veterinario. Chillán, Chile. U. Concepción, Fac. Medicina Veterinaria. 34 p.

**DAVIS, M.; MALTZ, E.; REINEMANN, D.** 2000. Consideration of teat morphology and milking characteristics for robot milking conditions. **In:** International Symposium on Robotic Milking. Lelystadt, Netherlands. 16-17 August 2000. sp.

**DI RIENZO, J.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.** 2012. InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. [en línea] <<http://www.infostat.com.ar>> [Fecha de consulta: 21-04-2011].

**DOHOO, I.; MEEK, A.; MARTIN, S.** 1984. Somatic cell counts in bovine milk: relationships to production and clinical episodes of mastitis. *Can. J. Comp. Med.* 48:130-135.

**DURAN, J.; HEBEL, P.** 1974. Estudio comparativo de la conformación de ubres y pezones con la presentación de mastitis en el bovino. *Rev. Soc. Med. Vet. Chile.* 24:46-54.

**DURANDAL, P.** 2003. Diagnóstico predial de producción, obtención, almacenamiento y transporte de leche en tres centros de acopio lechero, Región Metropolitana. Memoria Médico Veterinario. Santiago, Chile. U. Chile, Fac. Cs. Veterinarias y Pecuarias. 223p.

**EMANUELSON, U.; PERSSON, D.** 1984. Studies on somatic cell counts in milk from Swedish dairy cows: I. Non-genetic causes of variation in monthly test-day results. *Act. Agric. Scand.* 34:33-44.

**ESTEVEZ, R.; MARIN, J.** 1991. Determinación de algunos parámetros de eficiencia operacional en salas de ordeño espina de pescado en la Décima Región. Memoria Perito Agrícola. Osorno, Chile. Fundación Adolfo Matthei, Instituto Profesional Agrario. 67 p.

**FOLEY, R.; BATH, D.; DICKINSON, F.; TUCKER, A.** 1972. Dairy cattle: principles, practices, problems, profits. Lea & Febiger. Philadelphia, USA. 691 p.

**GALTON, D.; PETERSSON, L.; MERRIL, W.; BANDLER, D.; SHUSTER, D.** 1984. Effects of premilking udder preparation on bacterial population, sediment, and iodine residue in milk. *J. Dairy Sci.* 67:2580-2589.

**GALTON, D.; PETERSSON, L.; MERRILL, W.** 1986. Effects of premilking udder preparation practices on bacterial counts in milk and on teats. *J. Dairy Sci.* 69:260-266.

**HAGNESTAM-NIELSEN, C.; EMANUELSON, U.; BERGLUND, B.; STRANDBERG, E.** 2009. Relationship between somatic cell count and milk yield in different stages of lactation. *J. Dairy Sci.* 92:3124-3133.

**HARMON, R.** 1994. Symposium: mastitis and genetic evaluation for somatic cell count: physiology of mastitis and factors affecting somatic cell counts. *J. Dairy Sci.* 77:2103-2112.

**HEINS, B.; HANSEN, L.; SEYKORA, A.; JOHNSON, D.; LINN, J.; ROMANO, J.; HAZLE, A.** 2008. Crossbreds of Jersey × Holstein compared with pure Holsteins for production, fertility, and body and udder measurements during first lactation. *J. Dairy Sci.* 91:1270-1278.

**HICKMAN, C.** 1964. Teat shape and size in relation to production characteristics and mastitis in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 47:777-782.

**HIGGINS, S.; MOORE, R.; KENNEDY, B.** 1980. Heritabilities of teat conformation traits and their relationships with somatic cell counts in Holsteins. *Can. J. Anim. Sci.* 60:231-239.

**ISO, INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION.** 2007. Milking machine installations – Mechanical tests. ISO 6690: 2007 (E). 3<sup>rd</sup> ed. Switzerland. 38 p.

**JARPA, R.** 2001. Evaluación de tiempos de rutina de ordeño en lecherías de la provincia de Bio Bio. Memoria Título Médico Veterinario. Chillán, Chile. U. Concepción, Fac. Medicina Veterinaria. 45 p.

**JONES, G.; PEARSON, R., CLABAUGH, G.; HEALD, C.** 1984. Relationships between somatic cell counts and milk production. *J. Dairy Sci.* 67:1823-1831.

**KAMMEL, D.** 1995. Swing parlors. [en línea]  
<<http://www.uwex.edu/ces/dairymod/milkingcenter/documents/SwingParlors.pdf>> [Fecha de consulta: 21-04-2013].

**KRUZE, J.** 2000. Resultado de una encuesta sobre el uso y manejo del dipping en rebaños lecheros de la IX y X Región. **In:** Curso Internacional Mastitis Bovina. Valdivia, Chile. 23-25 noviembre 2000. U. Austral de Chile, Fac. Cs. Veterinarias. sp.

**LAEVENS, H.; DELUYKER, H.; SCHUKKEN, H.; DE MEULEMEESTER, L.; VANDERMEERSCH, R.; DE MUËLENAERE, E.; DE KRUIF, A.** 1997. Influence of parity and stage of lactation on the somatic cell count in bacteriologically negative dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80:3219-3226.

**LAMA, J.; LIZANA, C.; CONTRERAS, K.; VARGAS, P.; WINKLER, D.; QUICHIYAO, R.; MANSILLA, E.; OLIVARES, M.** 2010. Sistemas productivos lecheros chilenos. *Cooprinforma.* 102:4-9.

**LANUZA, F.** 2012. Proyecto: “Identificación y monitoreo de sistemas productivos de leche competitivos por macrozonas homogéneas en Chile”. Informe Final Técnico y de Difusión. Osorno, Chile. Consorcio Tecnológico de la Leche S.A. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. U. Austral de Chile. 6 p. FIC-CS-C-2004-1-P-001.

**MEIN, G.; NEIJENHUIS, F.; MORGAN, W.; REINEMANN, D.; HILLERTON, J.; BAINES, J.; OHNSTAD, I.; RASMUSSEN, M.; TIMMS, L.; BRITT, J.; FARNSWORTH, R.; COOK, N.; HEMLING, T.** 2001. Evaluation of bovine teat condition in commercial dairy herds: 1. Non-infectious factors. **In:** Proceedings 2<sup>nd</sup> International Symposium on Mastitis and Milk Quality. Vancouver, BC, Canada. 13-15 september 2001. NMC, American Association of Bovine Practitioners. pp. 347-351.

**MILLER, R.; EMANUELSSON, U.; PERSSON, E.; BROLUND, L.; PHILIPSON, J.; FUNKE, H.** 1983. Relationships of milk somatic cell counts to daily milk yield and composition. *Act. Agric. Scand.* 33:209-223.

**MILLER, R.; PAAPE, M.; FULTON, L.; SCHUTZ, M.** 1993. Relationship of milk somatic cell count for Holstein heifers after first calving. *J. Dairy Sci.* 76:728-733.

**MILLER, R.; NORMAN, H.; WIGGANS, G.; WRIGHT, J.** 2004. Relationship of test-day somatic cell score with test-day and lactation milk yields. *J. Dairy Sci.* 87:2299-2306.

**NEIJENHUIS, F.; BARKEMA, H.; HOGVEEN, H.; NOORDHUIZEN, J.** 2000. Classification and longitudinal examination of callused teat ends in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83:2795-2804.

**NEIJENHUIS, F.; BARKEMA, H.; HOGVEEN, H.; NOORDHUIZEN, J.** 2001. Relationship between teat-end callosity and occurrence of clinical mastitis. *J. Dairy Sci.* 84:2664-2672.

**NG-KWAI-HANG, K.; HAYES, J.; MOXLEY, J.; MONARDES, H.** 1984. Variability of test-day milk production and composition and relation of somatic cell counts with yield and compositional changes of bovine milk. *J. Dairy Sci.* 67:361-366.

**NMC, NATIONAL MASTITIS COUNCIL.** 1996. Current concepts of bovine mastitis. 4<sup>th</sup> ed. National Mastitis Council. Madison, Wisconsin. 64 p.

**NMC, NATIONAL MASTITIS COUNCIL.** s.f. Recommended milking procedures. [en línea] <<http://nmconline.org/milkprd.htm>> [Fecha de consulta: 21-09-2013].

**O'CALLAGHAN, E.; O'SHEA, J.; DOYLE, H.; KAVANAGH, A.** 1989. Guidelines for machine milking and milking installations. Teagasc, Dublin. 103 p.

**ORBAN, M.; GULYAS, L.; NEMETH, S.; GERGACZ, Z.** 2009. Morphometric evaluation of udders in Jersey cows. *Lucr. Șt. Zootehnie și Biotehnologii.* 42:327-332.

**PALMA, M.** 2006. Morfología de los pezones bovinos, profundidad y grado de limpieza de la ubre y su relación con el recuento celular somático individual en un predio lechero de la provincia de Ñuble. Memoria Título Médico Veterinario. Concepción, Chile. U. Concepción, Fac. Medicina Veterinaria. [en línea] <[http://www.bibliodigital.udec.cl/sdx/udec/tesis/2006/palma\\_m/html/index-frames.html](http://www.bibliodigital.udec.cl/sdx/udec/tesis/2006/palma_m/html/index-frames.html)> [consulta: 10-10-2012].

**PANKEY, J.; EBERHART, R.; CUMING, A.; DAGGETT, R.; FARNSWORTH, R.; McDUFF, C.** 1984. Uptake on postmilking teat antisepsis. *J. Dairy Sci.* 67:1336-1353.

**PANKEY, J.; WILDMAN, E.; DRECHSLER, P.; HOGAN, J.** 1987. Field trial evaluation of premilking teat disinfection. *J. Dairy Sci.* 70:867-872.

**PANKEY, J.** 1989. Hygiene at milking time in the prevention of bovine mastitis. *Br. Vet. J.* 145:401-409.

**PEDRAZA, C.; AGÜERO, H.; GOMEZ, M.; JAHN, E.; LANUZA, F.; HAZARD, S.; VIDAL, A.; FAJARDO, P.; LEIVA, R.** 1994a. Relación entre la concentración de células somáticas y producción diaria de leche, determinada en cinco rebaños lecheros de Chile. *Agric. Téc. (Chile)* 54:259-267.

**PEDRAZA, C.; AGÜERO, H.; GOMEZ, M.; FLORES, H.; MANSILLA, A.; FAJARDO, P.** 1994b. Relación entre recuento de células somáticas y características de la curva de lactancia en vacas lecheras. *Agric. Téc. (Chile)* 54:268-276.

**PHILPOT, W.** 1999. Aumento de la rentabilidad mediante el mejoramiento de la calidad de leche y la reducción de la mastitis. **In:** Curso de Perfeccionamiento. Mejoramiento de la Calidad Higiénica de Leche de Pequeños Productores. Osorno, Chile. 6-8 diciembre 1999. U. Chile, Fac. Cs. Veterinarias y Pecuarias-UFOCO S.A. pp. 49-84.

**QUICHIYAO, R.** 2010. Una visión práctica de la situación nacional y local de la calidad de leche. Avances en calidad de leche y salud mamaria. **In:** Jornadas Técnicas COOPRINSEM. Osorno, Chile. COOPRINSEM. [diapositiva]  
<[http://cooprinsem.cl/home/pdf/jornadas\\_tecnicas/2010/descarga.php?id=1\\_situacin\\_nacional.pdf](http://cooprinsem.cl/home/pdf/jornadas_tecnicas/2010/descarga.php?id=1_situacin_nacional.pdf)> [consulta: 10-06-2013].

**RABOLD, K.; PICHLER, O.** 1980. Some environmental influences on mastitis of cow herds in south Germany. **In:** Proceedings of International Workshop on Machine Milking and Mastitis. Cork, Ireland. International Dairy Federation (Moorepark Research Centre). pp. 121-127.

**RASMUSSEN, M.; FRIMER, E.; KAARTINEN, L.; JENSEN, N.** 1998. Milking performance and udder health of cows milked with two different liners. *J. Dairy Res.* 65:353-363.

**RATHORE, A.** 1975. Teat shape associated with teat cup crawl and production in Friesian cows. *J. Agric. Sci.* 85:377-379.

**RATHORE, A.** 1976. Relationships between teat shape, production and mastitis in Friesian cows. *Br. Vet. J.* 132:389-392.

**RAUBERTAS, R.; SHOOK, G.** 1982. Relationship between lactation measures of somatic cell concentration and milk yield. *J. Dairy Sci.* 65:419-425.

**RENEAU, J.** 1986. Effective use of dairy herd improvement somatic cell counts in mastitis control. *J. Dairy Sci.* 69:1708-1720.

**RENEAU, J.** 2001. Preparación de la ubre para la producción de leche de calidad. **In:** III Jornada Internacional en Producción de Leche. Santiago, Chile. 22-23 junio 2001. U. Chile, Fac. Cs. Veterinarias y Pecuarias. pp. 139-150.

**RIERA-NIEVES, M.; RODRIGUEZ-MARQUEZ, M.; PEROZO-PRIETO, E.; RIZZI, R.; CEFIS, A.; PEDRON, O.** 2006. Comparación de las características morfológicas de los pezones en tres razas lecheras. *FCV-LUZ.* 16:393-400.

**ROCHA, S.** 1978. Relación entre morfología y tamaño del pezón e incidencia de mastitis subclínica en vacas Holstein Friesian bajo un sistema de ordeña mecánica. Memoria Título Médico Veterinario. Santiago, Chile. U. Chile, Fac. Cs. Veterinarias y Pecuarias. 24 p.

**ROGERS, G.; SPENCER, S.** 1991. Relationships among udder and teat morphology and milking characteristics. *J. Dairy Sci.* 74:4189-4194.

**ROGERS, G; HARGROVE, G.; LAWLOR, T.; EBERSOLE, J.** 1991. Correlations among linear type traits and somatic cell counts. *J. Dairy Sci.* 74:1087-1091.

**RUEGG, P.** 1999. Control de mastitis. [en línea] <[http://milkquality.wisc.edu/wp-content/uploads/2011/09/control-de-mastitis\\_ppt.pdf](http://milkquality.wisc.edu/wp-content/uploads/2011/09/control-de-mastitis_ppt.pdf)> [Fecha de consulta: 18-10-2013].

**RUEGG, P.** 2004. Pre-milking cow preparation – secret methods of producing high quality milk. **In:** NMC Regional Meeting Proceedings. Bloomington, Minnesota. 29-30 June 2004. National Mastitis Council. pp. 34-40.

**RUEGG, P.** 2010. Los siete hábitos para una rutina de ordeño altamente exitosa. Parte I & II. **In:** Olivares, M. (Ed.). Jornadas Técnicas COOPRINSEM 2010. Avances en Calidad de Leche y Salud Mamaria. Osorno, Chile. 4 mayo 2010. COOPRINSEM. pp. 27-36.

**SAAVEDRA, S.** 2006. Aplicación del control estadístico de procesos al recuento de células somáticas de leche de estanque para el monitoreo de la calidad de leche en la X Región. Memoria Título Médico Veterinario. Santiago, Chile. U. Chile, Fac. Cs. Veterinarias y Pecuarias. 199 p.

**SALAZAR, E.** 2001. Descripción de la rutina de ordeño en lecherías de la provincia de Bio Bio. Memoria Título Médico Veterinario. Chillán, Chile. U. Concepción, Fac. Medicina Veterinaria. 45 p.

**SALSBERG, E.; MEEK, A.; MARTIN, S.** 1984. Somatic cell counts: associated factors and relationship to production. *Can. J. Comp. Med.* 48:251-257.

**SCHEPERS, A.; LAM, T.; SCHUKKEN, Y.; WILMINK, J.; HANEKAMP, W.** 1997. Estimation of variance components for somatic cell counts to determine thresholds for uninfected quarters. *J. Dairy Sci.* 80:1833-1840.

**SERIEYS, F.** 1985. Relation entre concentration cellulaire du lait individuel, production laitière, et sensibilité des vaches aux infections mammaires. *Ann. Rech. Vét.* 16:271-277.

**SEYKORA, A.; McDANIEL, B.** 1985a. Udder and teat morphology related to mastitis resistance: a review. *J. Dairy Sci.* 68:2087-2093.

**SEYKORA, A.; McDANIEL, B.** 1985b. Heritabilities of teat traits and their relationships with milk yield, somatic cell count, and percent two-minute milk. *J. Dairy Sci.* 68:2670-2683.

**SEYKORA, A.; McDANIEL, B.** 1986. Genetics statistics and relationships of teat and udder traits, somatic cell counts, and milk production. *J. Dairy Sci.* 69:2395-2407.

**SHELDRAKE, R.; HOARE, R.; MCGREGOR, G.** 1983. Lactation stage, parity, and infection affecting somatic cells, electrical conductivity, and serum albumin in milk. *J. Dairy Sci.* 66:542-547.

**SHOOK, G.** 1989. Selection for disease resistance. *J. Dairy Sci.* 72:1349-1362.

**SLETTBAKK, T.; JORSTAD, A.; FARVER, T.; HIRD, D.** 1990. Impact of milking characteristics and teat morphology on somatic cell counts in first-lactation Norwegian cattle. *Prev. Vet. Med.* 8:253-267.

**SLETTBAKK, T.; JORSTAD, A.; FARVER, T.; HOLMES, J.** 1995. Impact of milking characteristics and morphology of udder and teats on clinical mastitis in first- and second-lactation Norwegian cattle. *Prev. Vet. Med.* 24:235-244.

**SMITH, V.** 1962. Fisiología de la lactancia. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A. Turrialba, Costa Rica. 282 p.

**SMITH, J.; DHUYVETTER, K.; VANBAALE, M.; ARMSTRONG, D.; HARNER, J.** 2005. Managing the milking parlor: an economic consideration of profitability. **In:** 44<sup>th</sup> NMC Annual Meeting Proceedings. Orlando, Florida. 16-19 January 2005. National Mastitis Council. pp. 165-180.

**SPENCER, S.** 1989. Recent research and developments in machine milking - a review. *J. Dairy Sci.* 72:1907-1917.

**SPENCER, S.** 1997. The right vacuum; milking vacuum-claw vacuum. **In:** Virtaniemi, J.; Kavander, K. (Eds.). Proceedings of the International Symposium Professional Milk Extraction. Oy Alfa Laval Agri Scandinavia Ab. Helsinki, Finland. pp. 69-76.

**SPENCER, S.; ROGERS, G.** 1991. Effect of vacuum and milking machine liners on liner slip. *J. Dairy Sci.* 74:429-432.

**TILKI, M.; ÇOLAK, M.; ÇAĞLAYAN, Ş.** 2005. Effects of teat shape on milk yield and milking traits in Brown Swiss cows. *Turk J. Vet. Anim. Sci.* 29:275-278.

**TYLER, J.; THURMOND, M.; LASSLO, L.** 1989. Relationship between test day measures of somatic cell count and milk production in California dairy cows. *Can. J. Vet. Res.* 53:182-187.

**WEISS, D.; WEINFURTNER, M.; BRUCKMAIER, R.** 2004. Teat anatomy and its relationship with quarter and udder milk flow characteristics in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87:3280-3289.

**WINKLER, D.; OLIVARES, M.; LAMA, J.; LIZANA, C.; CONTRERAS, K.; VARGAS, P.; QUICHIYAO, R.; MANSILLA, E.** 2011. Sistemas productivos lecheros 2ª parte. *Cooprinforma.* 103:4-7.

**WOOLFORD, M.** 2004. Minimal milking routines: New Zealand style. **In:** 43<sup>th</sup> NMC Annual Meeting Proceedings. Charlotte, North Carolina. 1-4 february 2004. National Mastitis Council. pp.198-206.

**YOUL, B.; NOCHOLLS, T.** 1987. The relationship between somatic cell counts and lactation yield of dairy cows. *Aust. J. Dairy Technol.* 42:68-70.

**ZWERTVAEGHER, I.** 2012. Teat dimensions of dairy cows and their relation with udder health as assessed using a novel 2d-vision-based device. Doctor (PhD) in Veterinary Sciences. Flandes, Belgium. Ghent University. Fac. Veterinary Medicine. 177 p.

**ZWERTVAEGHER, I.; DE VliegHER, S.; PIEPERS, S.; BAERT, J.; VAN WEYENBERG, S.** 2011. Cow and quarter characteristics associated with teat dimensions. **In:** 50<sup>th</sup> NMC Annual Meeting Proceedings. Arlington, Virginia. 23-24 january 2011. National Mastitis Council. pp. 123-124.

**ZWERTVAEGHER, I.; VAN WEYENBERG, S.; PIEPERS, S.; BAERT, J.; DE VliegHER, S.** 2012. Variance components of teat dimensions in dairy cows and associated factors. *J. Dairy Sci.* 95:4978-4988.

## Anexo 1

### Planilla de Registro Identificación del Predio, Características del Rebaño y Antecedentes Básicos de la Sala, Equipo y Procedimientos de Ordeña

N° Ficha				
Fecha evaluación				
Ordeña evaluada	M	T	N	

#### I IDENTIFICACIÓN DEL PREDIO

1. Nombre del predio	
2. Nombre del propietario	
3. Nombre del encargado	
4. Ubicación/Región	
5. Fono/Fax/e-mail	

#### II CARACTERÍSTICAS DEL REBAÑO

1. Sistema productivo	Pastoreo	Confinamiento	Mixto
2. Raza*			
3. Producción diaria por vaca (kg)**			
4. Recuento células somáticas **			
5. N° vacas en ordeña durante la evaluación			
6. N° vacas con evaluaciones de morfología de los pezones			

\* Anotar las razas o cruza utilizadas en cada rebaño. Verificar dichos genotipos en los animales evaluados (Anexo 2).

\*\* Promedios del control lechero más reciente. Si no están disponibles, registrar la producción total del día de la evaluación y dividir por el n° de vacas en ordeña y, en el caso del RCS, utilizar el último informe de la planta lechera.

#### III DATOS DE LA SALA Y DEL EQUIPO

Tipo de sala	Espina de pescado	Línea simple	Línea doble	Jaula	Salida frontal	Otros
N° puestos de la sala	N° Unidades del equipo					
Altura de la línea de leche	Media	Baja				
Acción de pulsación	Simultánea	Alternada				
Frecuencia de pulsación <sup>a</sup>						
Relación de pulsación <sup>a</sup>						
Nivel de vacío <sup>a</sup>						
Retiro de las unidades	Manual	Automático				
Configuración de los retiradores <sup>a</sup>	Flujo lácteo (kg/mim)		Tiempo (seg)			
Sistema de sujeción y alineamiento de unidades	No	Si	Brazos de servicio			
			Abrazaderas y/o ganchos			
			Otros			
Modelo de pezonera <sup>a</sup>	Modelo de colector <sup>a</sup>		Modelo de copa de pezonera <sup>a</sup>			

<sup>a</sup> Se realizarán al menos dos mediciones de la frecuencia de pulsación y relación de pulsación, y del nivel de vacío de trabajo, calculándose posteriormente sus promedios para cada equipo.

<sup>\*\*</sup> No se medirá la configuración de los retiradores automáticos, a menos que se haya modificado la configuración por defecto establecida por el fabricante.

<sup>a</sup>Datos proporcionados por DeLaval S.A.

#### IV PROCEDIMIENTOS DE ORDEÑA

1. Descripción de los procedimientos	Despunte	Secado de pezones
	Lavado de pezones	Postdipping
	Predipping	

Obs.: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

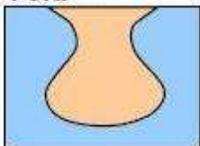
## Anexo 2

N° de Ficha	
Fecha de Evaluación	
Nombre del Predio	
Ubicación/Región	

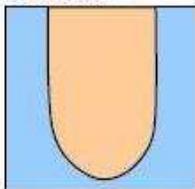
### Planilla de Registro Morfología de Pezones

Nº Vaca	Raza	NOP	DEL	PDL	RCS	PP	FPU 1: Plana 2: Redonda 3: Puntiguda	FPE 1: Pera 2: Cilindro 3: Cono	DPEA 1: Afuera 2: Abajo 3: Adentro	LPE	DPE B	DPE 1/2	Observaciones
						AD							
						AI							
						PD							
						PI							
						AD							
						AI							
						PD							
						PI							

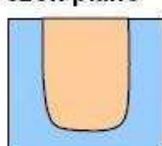
Pera



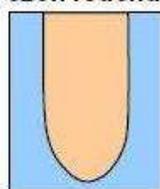
Cilindro



Pezón plano



Pezón redondo



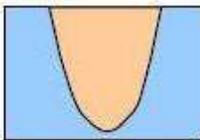
Afuera



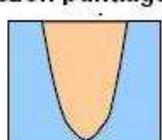
Abajo



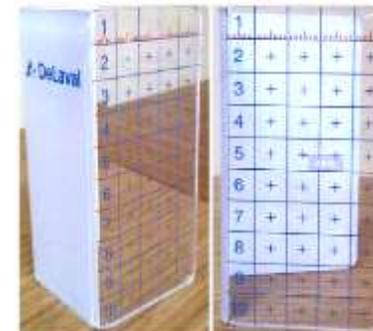
Cono



Pezón puntiagudo



Adentro



Categorías de  
"Forma del Pezón"  
(FPE)

Categorías de  
"Forma de la Punta del Pezón"  
(FPU)

Categorías de  
"Dirección de los Pezones  
Anteriores"  
(DPEA)

Instrumento de Medición de  
Longitud y Diámetros de los  
Pezones  
(DeLaval Teat Measuring Tool®)