

**UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**LA HARINA DE PESCADO COMO SUPLEMENTO  
PROTEICO. EFECTOS SOBRE LA PRODUCCION  
Y COMPOSICION DE LA LECHE DE VACAS  
HOLANDO**

**por**

**Pablo DOMINGUEZ BALZA  
Martín GRAU STIRLING**

TESIS presentada como uno de  
los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2003**

*A mis padres, familiares y especialmente a Mariel  
por su constante apoyo durante todos estos años.  
P.D.B.*

*A mamá, que empezó conmigo y hoy festeja entre los ángeles .....  
A mi negrita querida, a mis hermanos y sobrinos.  
M.G.S*

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestra directora de tesis Ing. Agr. (Dra.) Laura Astigarraga y co-director Químico Giovanni Galieta, por su apoyo y colaboración en el desarrollo del presente trabajo.

A la Ing. Agr. Martha del Puerto, por su incondicional colaboración en la realización de los análisis de laboratorio.

Al Ing. Agr. Jorge Bermúdez y Dra. Stella Reginensi, por su apoyo y disposición durante nuestra estadía en el laboratorio.

Al personal no docente del laboratorio de la Unidad de Tecnología de los Alimentos, especialmente a Teresa, por habernos facilitado nuestra tarea brindándonos siempre su incondicional apoyo.

Al personal de las bibliotecas de las Facultades de Agronomía, Veterinaria y MGAP.

A la Ing. Agr. (Dra.) Cristina Cabrera, Ing. Qca. (Dra.) M<sup>a</sup> Antonia Grompone, Dra. (MSc) Silvana Carro, Dra. Daniela Marteletti, Dr. (PhD) José Luis Repetto, Dr. Enrique Bertullo, por habernos destinado su tiempo aportando materiales y comentarios para la realización de este trabajo.

A FRIPUR, especialmente al Sr. Ariel Silveira por permitirnos conocer la planta industrial y el proceso de fabricación de la harina de pescado.

A todas aquellas personas que de una forma u otra colaboraron y nos apoyaron en la elaboración del presente trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
<u>PAGINA DE APROBACION .....</u>	<u>II</u>
<u>AGRADECIMIENTOS .....</u>	<u>III</u>
<u>LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES .....</u>	<u>IV</u>
<u>1. INTRODUCCION .....</u>	<u>1</u>
<u>2. REVISION BIBLIOGRAFICA .....</u>	<u>2</u>
<u>2.1. HARINA DE PESCADO .....</u>	<u>2</u>
<u>2.1.1. Materia prima .....</u>	<u>2</u>
<u>2.1.1.1. Composición de la materia prima .....</u>	<u>3</u>
<u>2.1.1.2. Manejo y conservación de la materia prima .....</u>	<u>7</u>
<u>2.1.2. Proceso de fabricación .....</u>	<u>10</u>
<u>2.1.2.1. Cocción .....</u>	<u>10</u>
<u>2.1.2.2. Prensado .....</u>	<u>13</u>
<u>2.1.2.3. Tratamiento de los líquidos de prensa .....</u>	<u>16</u>
<u>2.1.2.3.1. Tratamientos preliminares .....</u>	<u>16</u>
<u>2.1.2.3.2. Separación del agua y del aceite .....</u>	<u>17</u>
<u>2.1.2.3.3. Evaporación del agua de cola .....</u>	<u>19</u>
<u>2.1.2.4. Deshidratación .....</u>	<u>22</u>
<u>2.1.2.4.1. Deshidratadores directos .....</u>	<u>23</u>
<u>2.1.2.4.2. Deshidratadores indirectos .....</u>	<u>26</u>
<u>2.1.2.5. Molienda, envasado y almacenamiento .....</u>	<u>28</u>
<u>2.1.2.6. Rendimientos y composición durante el</u> <u>procesamiento .....</u>	<u>30</u>
<u>2.2. LA HARINA DE PESCADO COMO ALIMENTO PARA ANIMALES</u> <u>.....</u>	<u>33</u>
<u>2.2.1. Composición .....</u>	<u>33</u>
<u>2.2.1.1. Proteína .....</u>	<u>34</u>
<u>2.2.1.2. Grasa .....</u>	<u>44</u>
<u>2.2.1.3. Minerales y vitaminas .....</u>	<u>47</u>
<u>2.2.2. Calidad .....</u>	<u>50</u>
<u>2.2.3. Utilización en la alimentación animal .....</u>	<u>52</u>
<u>2.3. EFECTOS SOBRE LA PRODUCCION Y COMPOSICION</u> <u>DE LA LECHE .....</u>	<u>57</u>
<u>2.3.1. Efectos sobre la producción de leche .....</u>	<u>57</u>
<u>2.3.2. Efectos sobre la producción de sólidos de la leche .....</u>	<u>65</u>
<u>2.3.2.1. Producción de proteína .....</u>	<u>65</u>
<u>2.3.2.2. Producción de grasa .....</u>	<u>69</u>
<u>2.3.3. Implicancias de los efectos en la composición sobre</u> <u>la salud humana .....</u>	<u>74</u>

<u>3. MATERIALES Y METODOS .....</u>	<u>76</u>
<u>3.1. UBICACION .....</u>	<u>76</u>
<u>3.2. ANIMALES Y SU MANEJO .....</u>	<u>76</u>
<u>3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL .....</u>	<u>77</u>
<u>3.4. DETERMINACIONES .....</u>	<u>80</u>
3.4.1. Producción de leche .....	80
3.4.2. Composición de la leche .....	80
3.4.2.1. Determinación del contenido graso de la leche .....	80
3.4.2.2. Determinación de las fracciones nitrogenadas	
de la leche .....	80
3.4.3. Evaluación sensorial de la leche .....	81
3.4.4. Análisis estadístico .....	81
<u>4. RESULTADOS .....</u>	<u>83</u>
<u>4.1. PRODUCCION DE LECHE .....</u>	<u>83</u>
<u>4.2. COMPOSICION DE LA LECHE .....</u>	<u>83</u>
4.2.1. Contenido y producción de materia grasa .....	83
4.2.2. Fracciones nitrogenadas .....	84
<u>4.3. EVALUACION SENSORIAL .....</u>	<u>86</u>
<u>5. DISCUSION .....</u>	<u>88</u>
<u>5.1. PRODUCCION DE LECHE .....</u>	<u>88</u>
<u>5.2. COMPOSICION DE LA LECHE .....</u>	<u>90</u>
5.2.1. Contenido y producción de materia grasa .....	90
5.2.2. Contenido y producción de proteína y fracciones nitrogenadas	
.....	93
<u>5.3. EVALUACION SENSORIAL .....</u>	<u>95</u>
<u>6. CONCLUSIONES .....</u>	<u>97</u>
<u>7. RESUMEN .....</u>	<u>99</u>
<u>8. BIBLIOGRAFIA .....</u>	<u>101</u>
<u>9. ANEXOS .....</u>	<u>108</u>

Tesis aprobada por:

Director: \_\_\_\_\_  
Ing. Agr. (Dra.) Laura Astigarraga

\_\_\_\_\_  
Químico Giovanni Galletta

\_\_\_\_\_  
Ing. Agr. (Dra.) Cristina Cabrera

Fecha: \_\_\_\_\_

Autores \_\_\_\_\_  
Pablo Domínguez Balza

\_\_\_\_\_  
Martín Grau Stirling

## LISTA DE ABREVIACIONES

**AA** = aminoácidos  
**AAE** = aminoácidos esenciales  
**AANE** = aminoácidos no esenciales  
**AGNE** = ácidos grasos no esterificados  
**AGV** = ácidos grasos volátiles  
**C** = cenizas  
**C.V.** = coeficiente de variación  
**CFDA** = consumo de fibra detergente ácido  
**CFDN** = consumo de fibra detergente neutro  
**CLA** = ácido linoléico conjugado  
**CMO** = consumo de materia orgánica  
**CMOD** = consumo de materia orgánica digestible  
**CMS** = consumo de materia seca  
**CMSa** = consumo de materia seca analítica  
**CPC** = consumo de proteína cruda  
**DFDA** = digestibilidad de la fibra detergente ácido  
**DFDN** = digestibilidad de la fibra detergente neutro  
**DHA** = ácido docosahexaenoico  
**DMO** = digestibilidad de la materia orgánica  
**DMS** = digestibilidad de la materia seca  
**DRYT** = temperatura de salida del deshidratador  
**EE** = extracto etéreo  
**EM** = energía metabolizable  
**ENI** = energía neta de lactación  
**EPA** = ácido eicosapentaenoico  
**Exp Gir** = expeller de girasol  
**FC** = fibra cruda  
**FDA** = fibra detergente ácido  
**FDN** = fibra detergente neutro  
**g** = gramo  
**HP** = harina de pescado  
**kg** = kilogramo  
**l** = litro  
**LCG** = leche corregida en grasa  
**LDA** = lignina detergente ácido  
**Máx.** = máximo  
**Mcal** = mega calorías  
**meq** = mili equivalentes  
**MF** = materia fresca  
**mg** = miligramo  
**Mín.** = mínimo  
**ml** = mililitro  
**mm** = milímetro

**MO** = materia orgánica  
**MS** = materia seca  
**MSa** = materia seca analítica  
**MUFA** = ácidos grasos monoinsaturados  
**N** = nitrógeno  
**N Total** = nitrógeno total  
**NC** = nitrógeno caseínico  
**NNC** = nitrógeno no caseínico  
**NNP** = nitrógeno no proteico  
**NP** = nitrógeno proteico  
**°C** = grados Celsius  
**P verdadera** = proteína verdadera  
**PB** = proteína bruta  
**PC** = proteína cruda  
**ppm** = partes por millón  
**Prod Leche** = producción de leche  
**PUFA** = ácidos grasos poliinsaturados  
**PV** = peso vivo  
**RDP** = proteína degradable en rumen  
**RECHMO** = rechazo de materia orgánica  
**RECHMS** = rechazo de materia seca  
**rpm** = revoluciones por minuto  
**RUP** = proteína de sobrepaso o proteína no degradable en rumen  
**SD** = desvío standard  
**SFA** = ácidos grasos saturados  
**SOLADD** = proporción de solubles de pescado reincorporados a la torta de prensa  
**TCA** = ácido tricloroacético  
**TOTFAT** = contenido de grasa total  
**TVN** = nitrógeno volátil total

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro N°		Página
1	Composición media de algunas especies de pescado (fracción comestible) .....	4
2	Contenido de aminoácidos de diferentes especies de pescado y de bovinos, expresado en mg/100 g de alimento.....	5
3	Contenido de los principales ácidos grasos (>1%) de los aceites extraídos de los filetes de pescado en comparación con grasas animales y vegetales (g/100 g de alimento) .....	6
4	Contenido de minerales de algunas especies de pescado, en mg en 100 g de alimento .....	7
5	Composición de la harina de pescado en porcentaje .....	34
6	Composición promedio de aminoácidos (g/16 g de N) de diversas harinas de pescado, determinada mediante cromatografía de intercambio iónico .....	40
7	Proporción relativa de aminoácidos esenciales de la harina de pescado en relación a los de la leche .....	41
8	Desaparición (%) de AA totales y de los cuatro AA más limitantes para la producción de leche, después de 12 hs. de incubación ruminal ..	43
9	Desaparición intestinal (%) de AA totales y de los cuatro AA más limitantes para la producción de leche .....	44
10	Perfil de ácidos grasos de la harina de pescado, expresados como porcentaje de la grasa verdadera y como porcentaje del alimento .....	45
11	Composición en ácidos grasos de la familia omega en los lípidos de aceites, grasas y harina proteicas .....	47
12	Composición promedio de macro y microminerales en la harina de pescado .....	48
13	Contenido de calcio y fósforo de la harina de pescado .....	48
14	Contenido de algunas vitaminas en la harina de pescado, expresado en ppm .....	50
15	Índice de aminoácidos esenciales y aminoácidos limitantes de los alimentos estimados en comparación con la proteína de la leche .....	54
16	Contenido de Lisina y Metionina y de aminoácidos esenciales (AAE) de la proteína microbiana y suplementos proteicos comparados con la leche .....	55
17	Características de los animales al inicio del experimento .....	76
18	Duración de los períodos del experimento .....	77
19	Asignación de los animales según tratamiento y período .....	77
20	Composición química de los alimentos utilizados .....	78

21	Técnicas utilizadas para la determinación de la composición de los alimentos .....	78
22	Componentes de la dieta expresados en kg y % de la MS ofrecida .....	79
23	Composición química de la dieta ofrecida .....	79
24	Producción diaria de leche .....	83
25	Contenido y producción de materia grasa .....	83
26	Fracciones nitrogenadas de la leche, expresadas en g/l .....	84
27	Fracciones nitrogenadas de la leche, expresadas en g/día .....	85
28	Relaciones entre las fracciones nitrogenadas de la leche, expresadas en porcentaje .....	86
29	Resultado del análisis sensorial .....	86

### Figura N°

1	Secuencia de procesos para la fabricación de harina de pescado .....	11
2	Cocedor para la fabricación de harina de pescado .....	13
3	Prensa para la fabricación de harina de pescado .....	15
4	Prensa de doble tornillo, vista lateral y superior .....	15
5	Esquema de una centrífuga de decantación .....	17
6	Centrífuga de discos para la separación del agua y el aceite .....	18
7	Evaporador de múltiple efecto para la concentración del agua de cola .	21
8	Deshidratador de llama para la fabricación de harina de pescado .....	23
9	Deshidratador de discos rotativos para la fabricación de harina de pescado .....	26
10	Deshidratador de serpentines para la fabricación de harina de pescado.	27
11	Composición y rendimientos de la materia prima durante la fabricación de harina de pescado .....	31

## 1. INTRODUCCION

Los sistemas de producción de leche que aspiran a la obtención de altos rendimientos, deben considerar necesariamente y entre otros aspectos, la composición de la dieta suministrada a las vacas. El conocimiento de los efectos de la dieta sobre la composición de la leche, se torna de singular importancia como determinante del precio de la misma.

La búsqueda de mayores rendimientos industriales y la atención de los consumidores en los aspectos relacionados entre la dieta y la salud, han motivado un creciente esfuerzo en investigaciones tendientes a determinar los complejos factores del animal y la dieta, que regulan los cambios en la composición de la leche y las relaciones entre sus fracciones.

En vacas de alta producción y de buen status energético, su rendimiento estaría limitado si no se complementa la proteína microbiana con otra fuente proteica de “sobre paso”. La harina de pescado es un suplemento proteico, que se caracteriza por su excelente perfil de aminoácidos esenciales, rico en los señalados como más limitantes para la producción de leche y de elevado “escape” ruminal. Asimismo, la grasa de los productos de origen marino presenta una importante proporción de ácidos grasos de cadena larga poliinsaturados, los cuales se reportan como beneficiosos para la salud animal y humana cuando son consumidos (Pike, 1999). Existen evidencias de la transferencia de estos ácidos grasos a la leche de vaca, debido al consumo de dietas que incluyen aceite o harina de pescado, lo cual podría determinar una valorización de los productos lácteos.

El objetivo del presente trabajo es determinar el efecto de la suplementación con harina de pescado, en dietas isoproteicas e isoenergéticas, sobre la producción y composición de la leche de vacas Holando. En cuanto a ésta última, se pretende evaluar el efecto sobre los contenidos de grasa y proteína, así como de sus fracciones nitrogenadas. Además, se pretende determinar la posible existencia de diferencias en las características organolépticas de la leche (sabor o aroma), impartidas por la suplementación con harina de pescado.

## 2. REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1. HARINA DE PESCADO

#### 2.1.1. Materia prima

La producción de harina y aceite de pescado constituyen el principal método de aprovechamiento del pescado no comestible y de los desperdicios procedentes de las plantas industrializadoras. Cerca del 95% del pescado crudo que no se destina al consumo humano, es utilizado como materia prima para la fabricación de harina de pescado (Barlow y Windsor, 1983 citados por Hussein y Jordan, 1991).

Prácticamente cualquier pescado o molusco puede emplearse para la elaboración de harina de pescado (Barlow y Windsor, 1984).

Las materias primas frecuentemente explotadas están constituidas por especies pelágicas, que viven y se alimentan próximo a la superficie. Estas se encuentran en bancos de mayor densidad que los peces “de fondo” (demersales) y presentan contenidos de aceite superiores (Barlow y Windsor, 1984). Aproximadamente, el 90% de la harina de pescado a nivel mundial se produce a partir de especies con alto contenido en grasa, tales como anchoa (*Engraulis spp.*), capelín (*Mollutus villosus*) y menhaden (*Brevoortia tyrannus*), (Barlow y Windsor, 1983 citados por Hussein y Jordan, 1991). Menos del 10% es fabricada utilizando como materia prima el pescado blanco o magro, como róbalo (*Melanogrammus aeglefinus*) y bacalao (*Gadus morhua*); y menos del 1% se produce a partir de otras fuentes como las ballenas y los mariscos (Hussein y Jordan, 1991).

Otro tipo de materia prima lo constituyen los desperdicios de las plantas de fileteado, de elaboración de conservas y otros procesamientos industriales del pescado para consumo humano (Hampton, 1981 citado por Hussein y Jordan, 1991). La composición de esta materia prima es ligeramente diferente a la del pescado entero y requiere con frecuencia variaciones en su manejo y elaboración (Barlow y Windsor, 1984).

Cuando se utiliza como materia prima los desperdicios de las plantas industrializadoras, la harina resultante presenta una variabilidad importante en su composición, con menores contenidos de proteína y mayor porcentaje de minerales que cuando se fabrica a partir de pescados enteros (Johnson y Savage, 1987 citados por Hussein y Jordan, 1991). Esto es debido a una mayor proporción de restos óseos y menor contenido de carne del material a procesar. En el caso de la harina de pescado elaborada en Uruguay, esto no ocurriría en virtud de una mayor proporción de carne y reducida cantidad de material óseo en la materia prima procesada.

Según comentarios obtenidos en una visita realizada el día 16 de abril de 2003, a la planta de harina y aceite de pescado de FRIPUR, la materia prima utilizada en la fabricación de harina, consiste en residuos del procesamiento de la merluza blanca (*merluccius hubbsi*) para consumo humano, representando el 99,5% del total. En pequeñas proporciones se integran especies tales como: calamar (*Illex argentinus*), raya (*Raja spp.*) y otras capturas ocasionales. Cabe destacar que debido al método de procesamiento utilizado por la empresa, el pescado es eviscerado en alta mar, descartándose las vísceras y restos óseos (cabeza, aletas y cola), por lo cual a la fábrica de harina de pescado ingresan únicamente los residuos del fileteado (Silveira com. pers., 2003).

#### 2.1.1.1. Composición de la materia prima

Los principales componentes del pescado son agua, proteína, lípidos y minerales en proporciones variables entre los siguientes rangos: 66-84%, 15-24%, 0.1-22% y 0.8-2% respectivamente (Jacquot, 1961). La cantidad de glúcidos es tan pequeña que puede despreciarse a la hora de realizar una valoración nutritiva del pescado (Jacquot, 1961; Ludorff y Meyer, 1978).

En el cuadro 1, se presentan los datos de composición de distintas especies de pescado. Cabe resaltar que estos valores deben tomarse a título orientativo ya que experimentan fluctuaciones considerables que dependen de numerosos factores, tanto biológicos como ambientales, por ejemplo, variaciones genéticas, anatómicas, edad, estado de nutrición, desarrollo, estación del año y hábitat (Jacquot, 1961; Ludorff y Meyer, 1978; Barlow y Windsor, 1984).

Como se puede apreciar en el cuadro 1, la gran mayoría de las especies de pescado, presentan un contenido proteico medio de 18%, siendo éste muy poco variable entre las mismas. En cuanto al contenido de grasa y humedad existen marcadas variaciones entre especies, así como también pueden producirse diferencias estacionales dentro de una misma especie.

La proteína contenida en la carne de pescado se caracteriza por su elevado valor biológico, comparable al de las proteínas de la leche y huevos de mamíferos y aves. El alto grado de aprovechamiento de la proteína del pescado obedece a la clase y relación existente entre los aminoácidos que la componen, sobre todo en lo referente a aminoácidos esenciales (Ludorff y Meyer, 1978).

Como se puede apreciar en el cuadro 2, la composición de aminoácidos de la proteína del pescado se asemeja a la de la proteína de los mamíferos. Lo cual también es válido para los crustáceos y moluscos.

**Cuadro 1:** Composición media de algunas especies de pescado (fracción comestible).

Especie	Nombre científico	g en 100 g			
		Agua	Grasa	Proteína (N x 6.25)	Miner.
<b>Bacalao</b>	<i>Gadus morhua</i>	82	0.3	17	1.0
<b>Merluza *</b>	<i>Merluccius hubssi</i>	80	0.5	18	1.2
<b>Merlango negro</b>	<i>Merlangius merlangus</i>	80	0.8	18	1.2
<b>Halibut</b>	<i>Hippoglossus spp.</i>	75	5	19	1.0
<b>Acedia</b>	<i>Symphurus plagusia</i>	81	0.7	17	1.3
<b>Arenque (mar Norte)</b>	<i>Clupea spp.</i>	63	18	17	1.3
<b>Arenque(mar Báltico)</b>	<i>Clupea spp.</i>	71	9	18	1.3
<b>Atún</b>	<i>Tunus spp.</i>	62	16	22	1.1
<b>Eglefin (Robalo)</b>	<i>Melanogrammus spp.</i>	81	0.1	18	1.1
<b>Salmón</b>	<i>Oncorhynchus spp.</i>	66	14	20	1.0
<b>Sardina</b>	<i>Sardinops caerulea</i>	74	5	19	-
<b>Caballa</b>	<i>Scomber scombrus</i>	68	12	19	1.3
<b>Gallineta</b>	<i>Heliocolenus spp.</i>	78	3	19	1.4
<b>Molva</b>	<i>Molva dypterygia</i>	79	0.6	19	1.0
<b>Platija</b>	<i>Platichthys flesus</i>	81	0.8	17	1.4
<b>Lenguado</b>	<i>Bothus spp.</i>	80	1.4	18	1.1
<b>Rodaballo</b>	<i>Psetta spp.</i>	80	1.7	17	0.7

(\*) Extraído: de Instituto de Investigaciones Pesqueras.

Fuente: Adaptado de Ludorff y Meyer (1978).

Además de proteína, el músculo de pescado contiene otros componentes nitrogenados no proteicos que varían entre el 9 y 18% respecto al nitrógeno total, para los peces teleósteos, y entre 33 y 39% para los de esqueleto cartilaginoso (tiburón, raya, entre otros) con elevados contenidos de urea.

Mientras que el contenido de proteína en el pescado se mantiene relativamente constante entre las especies, la fracción grasa experimenta considerables variaciones que obliga a establecer una diferenciación entre pescados magros y pescados grasos. El representante típico de los pescados grasos es el arenque, encontrándose además dentro del mismo grupo de peces el espadín, el salmón, la anguila y el atún. Dentro del grupo de los pescados magros los más conocidos son: el bacalao, la merluza y el abadejo. Entre ambos grupos hay peces de composición intermedia como la gallineta y la caballa (Ludorff y Meyer, 1978).

**Cuadro 2:** Contenido de aminoácidos de diferentes especies de pescado y de bovinos, expresado en mg/100 g de alimento.

	Tiburón	Raya	Arenque	Salmón	Bacalao	Caballa	Crustaceos	Moluscos	Vaca
<b>Prot. (g en 100 g)</b>	20.0	20.0	20.0	18.0	17.0	27.0	16.0	10.0	17.7
<b>Isoleucina</b>	1389	1488	1056	815	797	1197	745	472	852
<b>Leucina</b>	1709	1670	1763	1259	1450	1836	1388	773	1435
<b>Lisina</b>	1930	2182	1802	1604	1703	2328	1262	797	1573
<b>Metionina</b>	570	634	621	469	574	657	466	274	478
<b>Cistina</b>	182	-	243	181	199	294	202	158	226
<b>Fenilalanina</b>	826	774	925	671	860	916	645	414	778
<b>Tirosina</b>	739	1082	774	547	666	968	581	416	637
<b>Treonina</b>	822	723	1027	786	879	1067	730	469	812
<b>Triptófano</b>	224	275	-	-	-	-	-	-	-
<b>Valina</b>	1101	1078	1229	959	889	1784	765	626	886
<b>Arginina</b>	1376	1571	1267	1017	1121	1374	1326	752	1118
<b>Histidina</b>	442	384	614	547	500	1348	300	238	603
<b>Alanina</b>	1430	-	1328	1123	1134	1344	1073	565	1033
<b>Ac. aspártico</b>	1552	-	2342	1547	1817	2497	1728	1117	1590
<b>Ac. glutámico</b>	2570	-	2986	2382	2687	3577	2499	1408	2703
<b>Glicina</b>	950	-	1062	1045	794	985	1044	517	860
<b>Prolina</b>	742	-	829	683	666	834	701	414	668
<b>Serina</b>	712	-	947	700	849	968	817	512	713

Fuente: Ludorff y Meyer (1978).

Los peces grasos tienen los músculos impregnados de grasa, encontrándose en forma de esférulas entre las miofibrillas, principalmente en la cara inferior del abdomen y en las zonas corporales en las que se insertan los radios de las aletas. Sin embargo, los peces magros acumulan su grasa en el hígado. (Ludorff y Meyer, 1978).

Tanto las grasas corporales de los peces grasos como los aceites de hígado de los peces magros son ésteres de la glicerina con una fracción relativamente alta de ácidos grasos insaturados (ver cuadro 3). Estos triglicéridos son de composición más compleja que la de los animales terrestres, destacándose especialmente los poliinsaturados con cuatro y seis dobles enlaces, predominando además, los ácidos grasos de 16, 18, 20 y 22 carbonos. El contenido de ácido linolénico es en general escaso (Ludorff y Meyer, 1978). Entre los ácidos grasos saturados prevalece el palmítico (16 C) con un rango del

13 al 19%, del total de ácidos grasos, en tanto el mirístico (14 C) y el esteárico (18 C) se presentan en un rango de 4 al 8% y 3 al 5%, respectivamente.

La elevada proporción de ácidos grasos insaturados supone una ventaja desde el punto de vista de la nutrición humana, pero tiene el inconveniente de perjudicar la capacidad de conservación, debido a que todos los aceites de pescado tienden al enranciamiento (Ludorff y Meyer, 1978).

**Cuadro 3:** Contenido de los principales ácidos grasos (> 1%) de los aceites extraídos de filetes de pescado en comparación con grasas animales y vegetales (g/100 g de alimento).

Acido graso	Merluza	Salmón*	Arenque*	Cazón	Corvina	Pescadilla de calada	Pescadilla de red	Sebo bovino*	Manteca*	Algodón*	Soja*
<b>14:0</b>	1.0	4.0	8.0	1.0	2.5	2.3	1.0	4.0	-	-	-
<b>16:0</b>	13.4	16.0	18.0	18.5	20.8	22.5	5.9	25.0	29.0	22.0	10.0
<b>16:1</b>	2.2	6.0	8.0	18.1	17.3	9.4	14.4	5.0	4.0	-	-
<b>18:0</b>	3.9	4.0	2.0	7.4	5.5	5.3	3.1	19.0	14.0	2.0	2.0
<b>18:1</b>	10.8	19.0	17.0	11.1	17.1	25.4	29.8	36.0	45.0	31.0	23.0
<b>18:2</b>	2.3	1.0	2.0	1.2	1.3	1.5	1.4	6.0	8.0	45.0	55.0
<b>20:1</b>	-	15.0	15.0	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>20:4</b>	2.8	12.0	9.0	1.4	1.6	1.0	1.8	-	-	-	-
<b>20:5</b>	9.4	9.0	7.0	6.4	5.9	6.8	7.6	-	-	-	-
<b>21:5</b>	7.0	-	-	1.8	1.9	2.2	2.2	-	-	-	-
<b>22:1</b>	6.3	5.0	12.0	7.3	3.4	2.8	3.7	-	-	-	-
<b>22:4</b>	2.8	-	-	1.5	1.3	1.0	2.6	-	-	-	-
<b>22:5</b>	1.5	3.0	1.0	4.6	2.8	1.8	3.3	-	-	-	-
<b>22:6</b>	24.7	15.0	8.0	24.7	7.0	11.5	13.2	-	-	-	-
<b>24:1</b>	-	<1.0	1.0	1.8	1.0	-	2.7	-	-	-	-

(\*) Extraído de Ludorff y Meyer, (1978).

Fuente: Rodríguez et al., (1993).

Por todo lo antes mencionado, el contenido proteico de la harina resultante del procesamiento de pescados enteros, es muy semejante, independientemente de la materia prima utilizada. Sin embargo, las variaciones registradas en el porcentaje de grasa no darán lugar a harinas de pescado significativamente diferentes, sino, a mayores o menores rendimientos en aceite durante el procesamiento. En virtud de que el aceite de pescado es un subproducto de la fabricación de harina y supone un beneficio adicional

para la industria, es importante tener en cuenta el contenido graso de la materia prima y su variación estacional. Esta última se debe a los cambios en la alimentación de los peces, ya que la misma difiere considerablemente entre lugares y estación del año (Grompone, 1992).

En cuanto al contenido de minerales, como se puede apreciar en el cuadro 4, los peces marinos contienen cantidades importantes de calcio, magnesio y fósforo. Es de destacar que si bien los peces marinos habitan en un ambiente salino, los contenidos de sodio y potasio de los mismos son similares a los de los animales terrestres, 100 mg y 300 mg en 100 g respectivamente (Ludorff y Meyer, 1978).

**Cuadro 4:** Contenido de minerales de algunas especies de pescado, en mg en 100 g de alimento.

<b>Especie</b>	<b>Calcio</b>	<b>Magnesio</b>	<b>Fósforo</b>	<b>Hierro</b>	<b>Cobre</b>	<b>Iodo</b>
<b>Bacalao</b>	11	28	186	0.52	0.041	0.104
<b>Eglefín</b>	17	24	173	0.52	0.041	0.513
<b>Caballa</b>	4.8	28	217	1.22	0.12	0.053
<b>Sardina</b>	42	24	212	24.8	0.17	0.013
<b>Acedia</b>	12	31	205	-	-	0.029
<b>Merluza *</b>	14.7	54.6	-	0	0.1	-

(\*) Extraído de: Instituto del Mar del Perú.

Fuente: Ludorff y Meyer (1978).

Si bien es importante el contenido total de minerales del pescado, es preciso tener en cuenta las relaciones entre estos elementos, y la presencia de microminerales y vitaminas. Respecto a los microminerales, la carne de pescado contiene cantidades importantes de hierro 10 a 15 ppm, cobre 0.5 a 2 ppm, zinc 2 a 8 ppm y concentraciones de iodo superiores a 0.12 ppm. El contenido de vitaminas en el pescado es apreciable, encontrándose en su composición las vitaminas: A, D, E, F, K, tiamina (B<sub>1</sub>), riboflavina (B<sub>2</sub>), niacina, ácido pantoténico, piridoxina (B<sub>6</sub>), cianocobalamina (B<sub>12</sub>), ácido fólico, biotina, ácido ascórbico (Vit. C) (Jacquot, 1961).

#### 2.1.1.2. Manejo y conservación de la materia prima

El manejo y la conservación de la materia prima previo a su ingreso a la planta industrializadora, es determinante de la calidad de la misma y consecuentemente del producto final, debido a que es poco probable obtener buenos resultados si se parte de una materia prima alterada y de baja calidad. De ahí la importancia que adquiere este tema ya que si no se evita la alteración del pescado se producen importantes pérdidas en el rendimiento en harina y en la cantidad y calidad del aceite, presentándose además,

dificultades en el desembarco, durante la elaboración y en el manejo de los residuos provenientes de los distintos procesos.

El tratamiento que reciba la captura a bordo dependerá de la especie, del tipo de embarcación y de la duración del viaje, pero generalmente, el pescado con destino a su aprovechamiento industrial recibe muy poco tratamiento (Barlow y Windsor, 1984).

El pescado crudo es un recurso muy alterable, y cuando esto sucede, sufre una hidrólisis química con pérdida de sólidos y aceite que hace más peligrosa su descarga (producción de gases tóxicos) y más difícil su elaboración. Durante esta última se producen malos olores que resultan difíciles de eliminar y en los casos más extremos, en pocas horas el pescado se transforma en una pasta casi imposible de elaborar (Barlow y Windsor, 1984).

Diversos son los mecanismos a través de los cuales se altera la materia prima, entre los que se destacan: la acción bacteriana, la alteración enzimática y la oxidación (Barlow y Windsor, 1984).

Los cambios enzimáticos y bacteriológicos que tienen lugar en el pescado post mortem causan proteólisis en el músculo del pescado (Storro et al., 1977 citados por Mehrez et al., 1980), con subsecuentes incrementos en el contenido de proteína solubles al agua en la harina de pescado (Midtsaeter y Loen, 1974 citados por Mehrez et al., 1980).

Los responsables de la degradación bacteriana son los microorganismos presentes en el intestino y en la superficie externa del pescado. En el pescado vivo, estos microorganismos se mantienen perfectamente bajo control, pero tras su muerte, se multiplican rápidamente. La temperatura juega un papel muy importante en la proliferación de los mismos, y cuanto más baja es ésta, menor es la actividad bacteriana. Además, durante el almacenamiento a granel del pescado “industrial” pueden producirse condiciones de anaerobiosis que favorecen el crecimiento de bacterias asociadas a los procesos de putrefacción. Durante éstos pueden formarse compuestos sulfurados, muchos de los cuales son tóxicos (como el SH<sub>2</sub>) y de olor desagradable. Se producen también cantidades importantes de amoníaco como consecuencia de la hidrólisis de proteínas, el cual se libera en forma gaseosa representando una pérdida de nitrógeno (Barlow y Windsor, 1984).

Las enzimas son catalizadores biológicos que aceleran las reacciones químicas y su acción depende, entre otros factores de la temperatura. Estas proteínas se encuentran presentes en el pescado y continúan su acción después de su muerte provocando la autodigestión (autólisis). Las diversas especies de pescado muestran una tendencia variable a la autólisis. Este proceso da lugar a la ruptura de la cavidad abdominal, al ablandamiento del músculo y a la pérdida de grandes cantidades de líquido que arrastra

consigo partículas sólidas y aceite. Además de la solubilización de las proteínas y las pérdidas subsiguientes en la fase líquida, la grasa del pescado puede también resultar afectada adversamente, ya que algunas enzimas (lipasas) pueden hidrolizar el aceite dando lugar a la formación de ácidos grasos libres, por lo que éste pierde calidad y valor comercial (Barlow y Windsor, 1984).

Otro de los mecanismos de alteración consiste en la oxidación del aceite, proceso que provoca su enranciamiento. Este fenómeno sólo puede producirse en presencia de oxígeno y por lo tanto no constituye una alteración importante en el almacenamiento del pescado a granel en el cual se dan condiciones de anaerobiosis (Barlow y Windsor, 1984).

Como se ha visto, la temperatura es un factor determinante de los procesos de alteración, incrementando el crecimiento y desarrollo microbiano y la velocidad de acción enzimática. Por esto, uno de los métodos de conservación de la materia prima, es la refrigeración. La congelación queda frecuentemente descartada para el pescado “industrial” por ser antieconómica (Barlow y Windsor, 1984).

Dependiendo de la especie a procesar y de la zona geográfica a la cual ésta pertenece, serán los requerimientos en cuanto a la refrigeración. Hay especies muy susceptibles a la alteración y que por lo tanto deberán refrigerarse aunque los tiempos de almacenamiento sean cortos (5 horas), mientras que hay otras que podrían almacenarse durante 24 o 48 horas sin requerir ningún tratamiento en particular (Barlow y Windsor, 1984).

La conservación en hielo constituye uno de los sistemas de refrigeración del pescado, contando las embarcaciones con la maquinaria adecuada para la fabricación de hielo en alta mar, así como la necesaria para la distribución de éste a la materia prima en las proporciones determinadas; siendo la más adecuada dos partes de hielo por una de pescado. Es muy importante adicionar el hielo en el momento del almacenaje procurando el íntimo contacto con la materia prima (Barlow y Windsor, 1984).

Otro método de conservación de la materia prima consiste en la utilización de sustancias químicas, como el formaldehído (Sparre, 1965; Mehrez et al., 1980; Barlow y Windsor, 1984; Hussein y Jordan, 1991).

El formaldehído es utilizado como conservador en el almacenamiento del pescado previo al procesamiento, actuando además como agente endurecedor del pescado blando y la materia prima alterada, (Sparre, 1965; Mehrez et al., 1980), favoreciendo el procesamiento posterior, especialmente durante la etapa de prensado. El formaldehído se aplica como solución de formalina al 0,1% debiéndose tener especial cuidado en su concentración, debido a que excesos de la misma pueden reducir el valor

nutritivo del pescado como consecuencia de reacciones con las proteínas (Barlow y Windsor, 1984).

En el caso de Uruguay (planta de harina de pescado de FRIPUR), la materia prima no recibe tratamiento de conservación debido a que se procesa fresca, antes de 24 horas de su salida de la planta de fileteado (Silveira com. pers., 2003).

Cualquiera sea el método de conservación empleado es importante almacenar la materia prima de forma tal que la sangre y los líquidos de drenado, que inevitablemente se forman, escurran de la masa de pescado. Estos líquidos incluyen contenido intestinal y bacterias, siendo deseable su separación para evitar alteraciones. Generalmente estos líquidos se evacúan al mar, pero si el viaje es corto y su almacenamiento es factible, pueden procesarse para su posterior adición al pescado durante la elaboración, en virtud de que contienen una proporción importante de proteína y aceite (Barlow y Windsor, 1984).

#### 2.1.2. Proceso de fabricación

A continuación se detallará el proceso básico de fabricación de la harina de pescado, sin perjuicio de que pueden existir variaciones en cuanto a la tecnología, equipos utilizados, tiempos operativos, que serán mencionados cuando resulte de interés.

Esencialmente la elaboración consiste en la separación parcial de los tres principales componentes de la materia prima: sólidos, aceite y agua. El contenido de agua deber reducirse desde un 70-80% a un 10% aproximadamente, para evitar de esta forma cualquier tipo de descomposición del producto final. El contenido de aceite en la harina deber reducirse a menos del 15%, de forma tal de mejorar su estabilidad y disminuir las probabilidades de desarrollo de olores a pescado en los productos animales (Barlow y Windsor, 1984).

En la figura 1, se muestra la secuencia de procesos para la fabricación de harina de pescado.

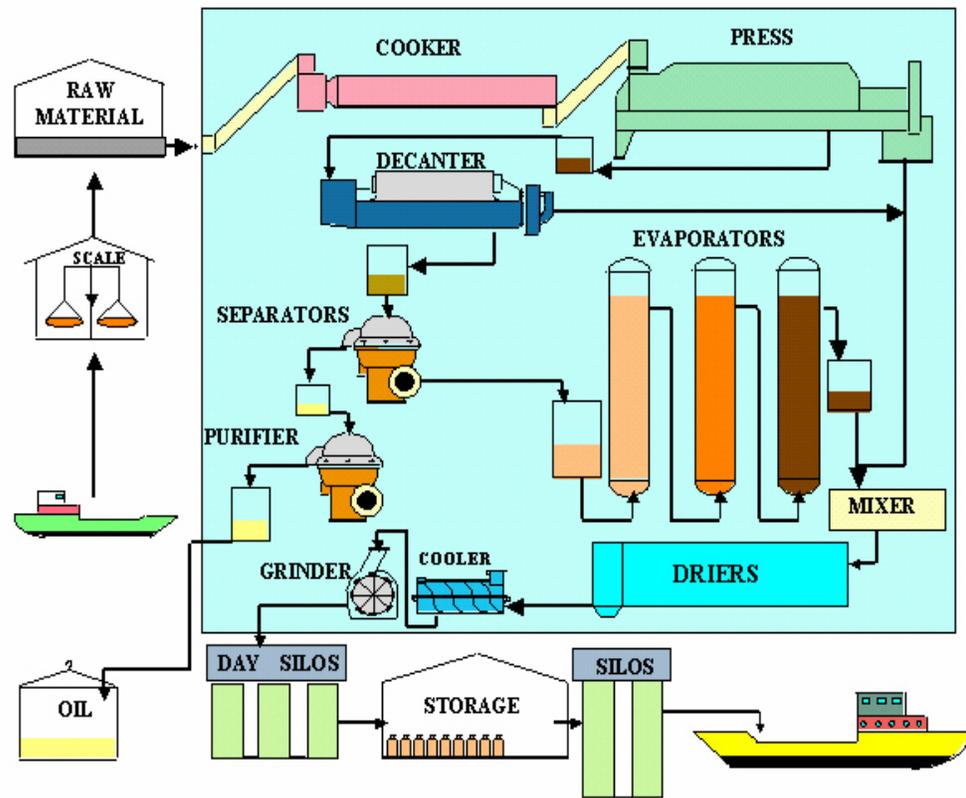
Como puede apreciarse, el proceso básico de fabricación consta de las siguiente etapas: cocción, prensado, tratamiento de los líquidos de prensado, deshidratación y por último molienda y envasado

##### 2.1.2.1. Cocción

Esta etapa tiene como objetivo promover la liberación del agua y aceite de la materia prima. Los incrementos de temperatura provocados por la cocción del pescado, desnaturalizan las proteínas y producen la ruptura de la membrana celular, facilitando de

esta forma la liberación del aceite y del agua fisiológicamente ligada (Burgess et al., 1987).

**Figura 1:** Secuencia de procesos para la fabricación de harina de pescado.



**Referencias:**

Raw material = materia prima  
 Scale = balanza  
 Cooker = cocedor  
 Press = prensa  
 Decanter = decantadora  
 horizontal  
 Separators y purifier =  
 centrífugas

Evaporator = evaporador  
 Mixer = mezclador  
 Driers = deshidratador  
 Cooler = enfriador  
 Grinder = molino  
 Day silos = silos  
 Storage = almacenamiento  
 Oil = aceite

La materia prima que no ha sufrido un proceso de cocción, es capaz de soportar grandes presiones sin una liberación significativa de estos componentes, ya que el agua en el pescado crudo se encuentra firmemente ligada a las proteínas (Burgess et al., 1987).

La simple cocción libera una proporción importante de líquidos celulares que con frecuencia, es superior al 60% del total de la materia prima (Barlow y Windsor, 1984).

Las condiciones óptimas para la cocción no son fáciles de determinar, debido a que dependen en gran medida del tipo y calidad de la materia prima. Lo ideal es lograr una cocción del pescado de forma tal de conseguir una masa de fácil prensado, que dará lugar a una harina con bajo contenido en aceite y a un mayor rendimiento en la extracción de éste último (Barlow y Windsor, 1984).

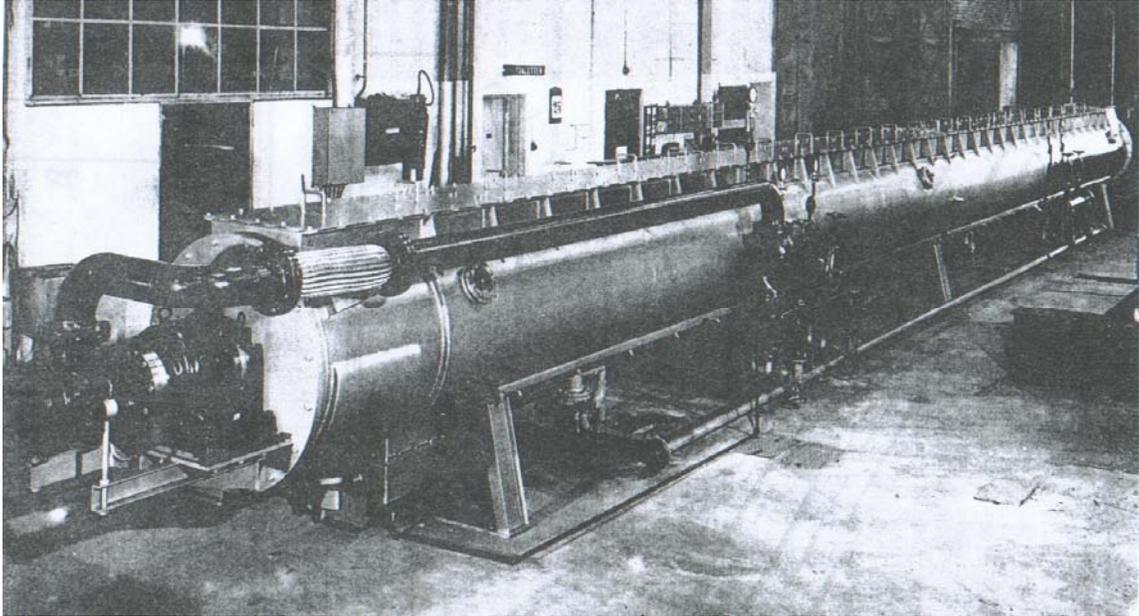
Si la cocción es incompleta la eliminación de líquidos y aceite será insuficiente, por el contrario, si ésta es excesiva la textura del producto es demasiado blanda impidiendo la expulsión de los líquidos durante el prensado. De esta forma se incrementa la proporción de partículas disueltas y en suspensión en el líquido de prensa, dificultando la posterior separación del aceite y evaporación (Burgess et al., 1987).

Se ha demostrado, que para la mayoría de los materiales no grasos, incrementos en la temperatura de cocción desde 60 a 100 °C, mejora la separación de las fases. Sin embargo, existe una considerable diferencia de comportamiento entre las diversas especies de pescados grasos (Barlow y Windsor, 1984). El tiempo de cocción varía entre 15 y 20 minutos (Burgess et al., 1987).

La maquinaria para la cocción o cocedor, consiste en un cilindro alargado por el que pasa el pescado impulsado por un tornillo sin fin o un transportador similar, ver figura 2. La cocción consiste en incrementar la temperatura de la materia prima a medida que esta es transportada por el cocedor, mediante la utilización de vapor (Barlow y Windsor, 1984; Burgess et al., 1987).

Existen dos métodos básicos para la cocción con vapor, uno mediante la inyección directa del vapor sobre la masa de pescado y otro con adición del vapor a través de una camisa. El primero tiene como principal desventaja la incorporación de agua a la materia prima, producto de la condensación del vapor, la cual deberá ser eliminada posteriormente en el proceso de elaboración. El vapor condensado con el pescado produce un 15-20% de agua adicional que es preciso eliminar (Burgess et al., 1987). La utilización de una camisa de vapor evitaría este inconveniente. En el caso de la planta de FRIPUR, el cocedor es indirecto con camisa de vapor, permaneciendo el material entre 15 y 20 minutos aproximadamente a una temperatura de 100 °C.

**Figura 2:** Cocedor para la fabricación de harina de pescado.



La operación de cocción es sumamente crítica, y debe por lo tanto tener la mayor flexibilidad posible para poder adaptarse a las variaciones de la materia prima. Si bien es posible utilizar exclusivamente cocedores dotados con camisa de vapor, la utilización conjunta de ambos métodos aportaría esa ductilidad (Burgess et al, 1987).

Los cocedores pueden presentar sistemas de control automático del nivel de materia prima, termostatos y dispositivos para la captación de sustancias extrañas que puedan causar daños en la maquinaria (Barlow y Windsor, 1984). Además, pueden estar dotados de dispositivos para la recolección de líquidos antes del prensado, los cuales posteriormente se mezclarán con el volumen principal de líquido de prensa (Burgess et al., 1987).

#### 2.1.2.2. Prensado

El prensado tiene por función, la separación física de las fases líquidas y sólidas de la materia prima, una vez que ésta fue sometida al proceso de cocción, debido a que en el cocedor no se produce ninguna separación siendo el material que ingresa el mismo que el que sale (Barlow y Windsor, 1984).

El pescado debe prensarse mientras su temperatura es elevada, por esta razón, es común que la prensa se instale inmediatamente después del cocedor (Burgess et al., 1987).

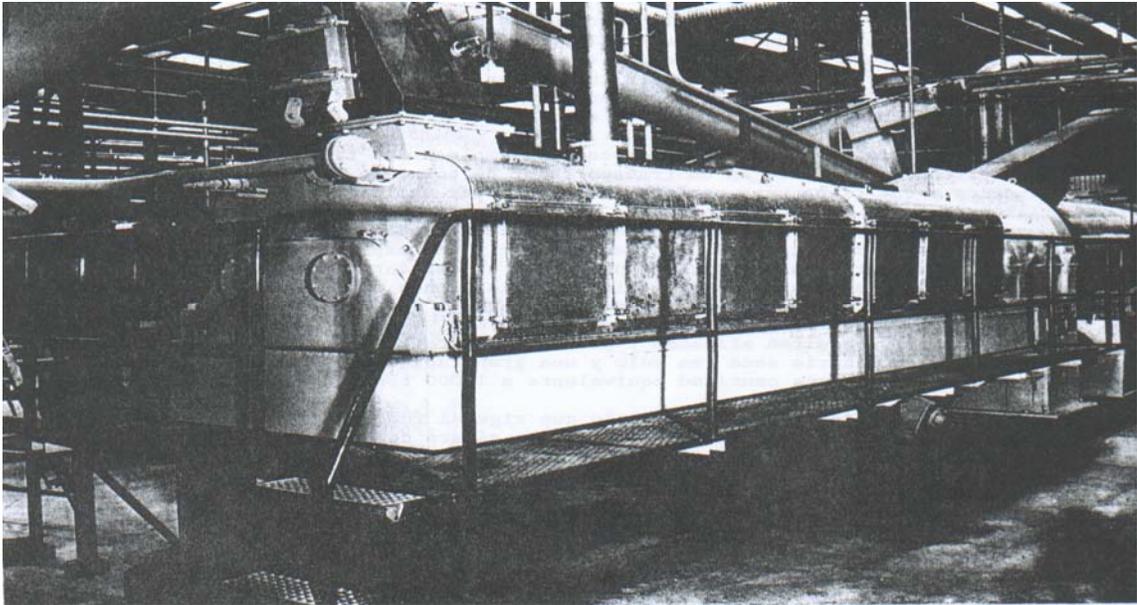
Previo al ingreso a la prensa, puede existir una pre prensa con fondo perforado de forma tal de recolectar, por drenaje, gran parte del líquido de cocción, siendo éste el caso de la planta de FRIPUR. A través de este procedimiento previo, se extrae un líquido compuesto por agua y aceite que contiene además sustancias disueltas y partículas en suspensión; el cual posteriormente será incorporado al líquido de prensa obtenido (Barlow y Windsor, 1984).

El proceso de prensado es continuo y consiste esencialmente en transportar la materia prima cocida a través de una prensa, obteniendo de esta forma, por un lado el “líquido de prensa”, recolectado por el fondo perforado de la prensa y por otro, en el extremo de salida de la misma, la fase sólida denominada “torta de prensa”.

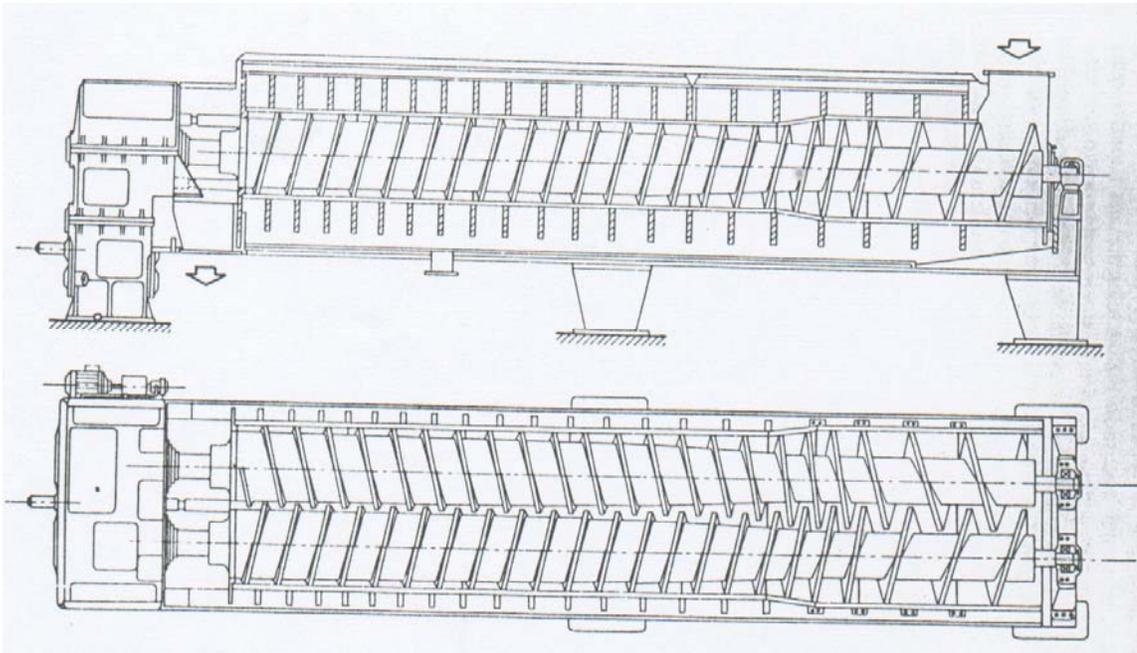
Existen diversos tipos de prensas, pero el más difundido entre las fábricas de harina de pescado es la prensa continua de tornillo, la cual está compuesta básicamente por una jaula cilíndrica o cuerpo con el fondo perforado dentro del cual gira un tornillo sin fin dotado de uno o más dispositivos que aseguran un rápido incremento de la presión (ver figura 3). Uno de estos dispositivos consiste en una conicidad del eje del tornillo sin fin, que hace que éste vaya incrementando su diámetro hacia la salida de la prensa de forma tal de reducir el espacio libre entre el cuerpo de la prensa y el transportador. Otro, es la disminución progresiva del paso de rosca del sin fin, hacia el extremo de salida, lo que disminuye la velocidad de transporte de la materia prima haciendo que ésta ofrezca una resistencia creciente al material que le sigue. El extremo de salida de la prensa se encuentra parcialmente cerrado mediante un cono ajustable lo que contribuye también a ejercer presión sobre la materia prima. El cuerpo de la prensa debe ser capaz de resistir presiones elevadas y las perforaciones que éste presente, deben ser siempre más ensanchadas en la parte exterior, para evitar de esta forma, oclusiones que dificulten la recolección de los líquidos (Burgess et al., 1987).

Dentro de las prensas de tornillos se encuentran dos grandes modelos, como lo son: las prensas de tornillo único y las de tornillo doble (Barlow y Windsor, 1984). Las primeras, de menor costo, presentan como gran inconveniente que la materia prima, principalmente cuando ha sufrido una cocción excesiva o bien alteraciones de tipo enzimáticas, forma una masa de consistencia muy blanda que gira con el tornillo sin fin sin avanzar, alterando de esta forma la operación de prensado. Las prensas de doble tornillo, al estar compuestas por dos tornillos sin fin engranados entre sí, ambos cónicos y con paso de rosca decrecientes que giran en direcciones opuestas solucionan éste inconveniente pero incrementan los costos (ver figura 4). A pesar de esto, este último tipo de prensa es el más utilizado por la industria Británica de la harina de pescado (Burgess et al., 1987); y el utilizado en FRIPUR.

**Figura 3:** Prensa para la fabricación de harina de pescado.



**Figura 4:** Prensa de doble tornillo, vista lateral y superior.



### 2.1.2.3. Tratamiento de los líquidos de prensa

Los líquidos de prensa, es decir, los eliminados en el transportador perforado previo a la prensa y en la prensa misma, están constituidos por una mezcla de agua, aceite y sólidos en proporciones variables según las condiciones de prensado. La composición típica de un líquido de prensa podría ser la siguiente: 78% de agua, 16% de aceite y 6% de sólidos, estando estos últimos conformados por sustancias disueltas y partículas en suspensión (Barlow y Windsor, 1984).

El propósito de esta parte del proceso de elaboración consiste en separar de la mejor forma posible, el aceite de la fase acuosa y concentrar seguidamente, mediante un proceso económico, los sólidos de ésta última para añadirlos luego a la torta de prensa antes de la deshidratación, mejorando así los rendimientos del proceso (Barlow y Windsor, 1984).

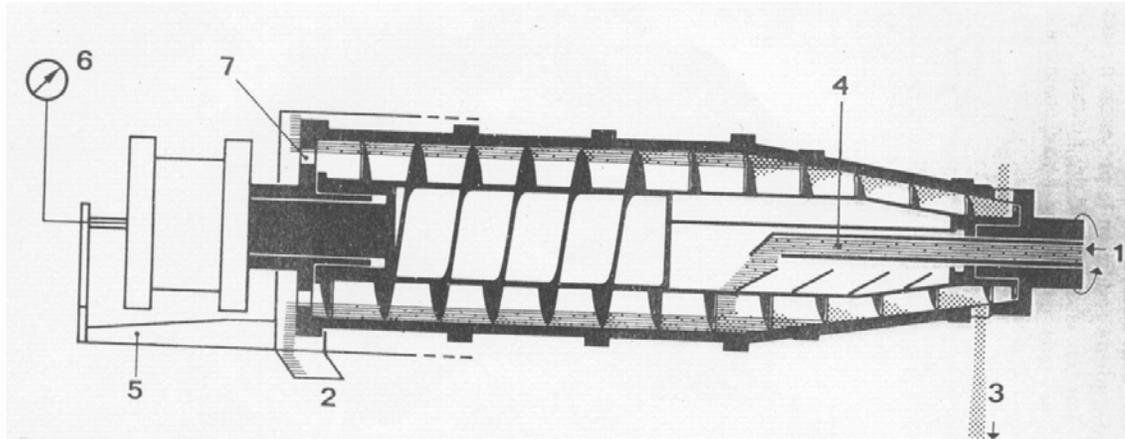
#### 2.1.2.3.1. Tratamientos preliminares

Para cumplir con los objetivos antes mencionados, primariamente se procede a la filtración del líquido de prensa con un tamiz de malla adecuada, de forma tal de separar las partículas sólidas de mayor tamaño que se encuentran en suspensión. Difícilmente con este proceso puedan eliminarse aquellas partículas de menor tamaño, por esto, una vez filtrado el líquido se pasa a una centrífuga de decantación (Barlow y Windsor, 1984).

La centrífuga es un aparato que aumenta la fuerza gravitatoria efectiva determinando la separación de dos líquidos o de un líquido y un sólido, cuando ambos presentan diferentes densidades (Burgess et al., 1987).

El decantador o centrífuga de decantación está compuesto básicamente por un rotor cilindro cónico que posee interiormente un transportador cilíndrico, tal como se muestra en la figura 5 (Barlow y Windsor, 1984). La fuerza centrífuga ejercida obliga al líquido a trasladarse a la periferia del rotor atravesándolo y pasando hacia la cara externa. El transportador de tornillo gira con el rotor, pero a una velocidad ligeramente inferior, retirando de forma continua los sólidos de la superficie. De esta forma por un extremo de la centrífuga se eliminan los sólidos a la vez que por el otro se obtiene un líquido, con escasa proporción de sólidos en suspensión, compuesto por una mezcla de agua y aceite. Los sólidos recuperados del líquido de prensa a través de este proceso pueden ser prensados nuevamente antes de ser añadidos a la masa principal de torta de prensa; el líquido de estas denominadas “prensas de heces”, se mezcla con el volumen principal de líquido de prensa (Burgess et al., 1987).

**Figura 5:** Esquema de una centrífuga de decantación.



**Referencias:**

- |   |                              |
|---|------------------------------|
| 1- Alimentación                         | 5- Protección por sobrecarga |
| 2- Salida de la fase líquida            | 6- Torquímetro               |
| 3- Salida de la fase sólida             | 7- Discos                    |
| 4- Conducto de alimentación (ajustable) |                              |

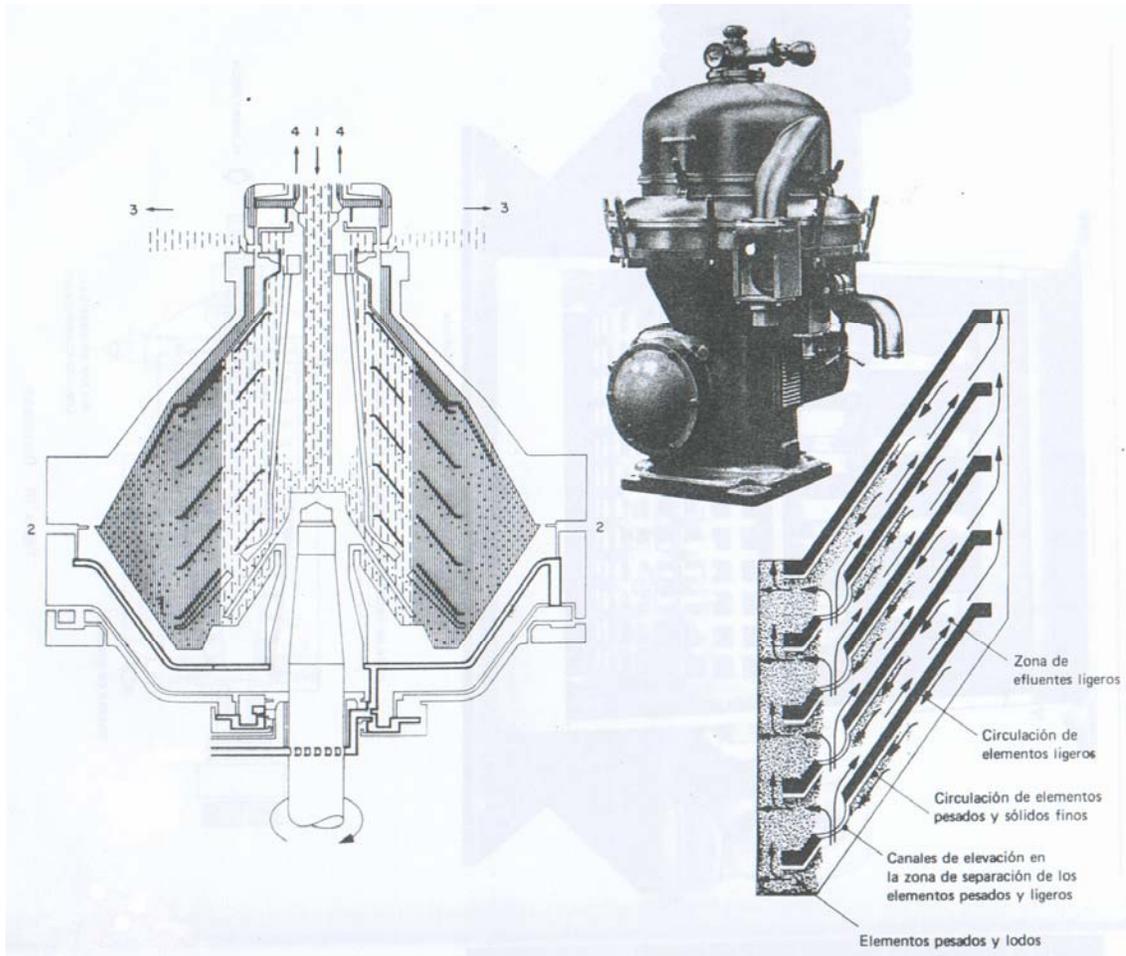
2.1.2.3.2. Separación del agua y del aceite

Posteriormente a los procesos mencionados, el líquido obtenido se separa en dos fracciones: aceite por un lado y la fase acuosa, denominada “agua de cola”, por otro. Esta separación se lleva a cabo en otra centrífuga continua, siendo las del tipo de discos verticales las más utilizadas, ver figura 6 (Barlow y Windsor, 1984).

Este tipo de centrífugas está compuesta por una serie de discos cónicos perforados, superpuestos entre sí a una distancia ajustable entre 0.5 y 2 mm. (Barlow y Windsor, 1984). La variabilidad en la distancia entre conos, permite mejorar la separación de las dos fracciones debido a que de esta forma, es posible reducir el trayecto que cada sustancia debe recorrer antes de separarse de la mezcla. El recorrido para una separación efectiva se reduce a la distancia existente entre la superficie exterior de un cono y la interior del cono situado encima (Burgess et al., 1987).

El líquido, mezcla de aceite y agua, ingresa a la centrífuga por el centro de la misma; una vez en funcionamiento, el aceite al presentar menor densidad se desplaza hacia arriba por la superficie exterior de cada cono, mientras que el agua desciende por la superficie interior existiendo dispositivos separados para la recolección y descarga. Los restos sólidos que puedan acumularse durante la centrifugación se descargan periódicamente siendo añadidos luego a la masa principal de torta de prensa.

**Figura 6:** Centrífuga de discos para la separación del agua y el aceite.



**Referencias:**

- 1- Alimentación
- 2- Descarga de la fase sólida
- 3- Salida del aceite
- 4- Salida del agua

En la mayoría de los casos, el aceite obtenido por este método es sometido a un proceso de “purificación”, con la finalidad de eliminar por completo las ultimas trazas de agua libre y de restos sólidos que provocarían un rápido deterioro del producto durante su almacenamiento. Para ello, se realiza una centrifugación a temperatura controlada, siendo muy importante el control de esta variable, debido a que la densidad y viscosidad del aceite dependen en gran medida de ella. La temperatura óptima para la realización de este proceso es de 95 °C (Windsor y Barlow, 1984). El aceite purificado por este procedimiento se almacena posteriormente en tanques limpios y secos, siendo

ésta la última manipulación que reciben en una fábrica de harina de pescado hasta su venta.

#### 2.1.2.3.3. Evaporación del agua de cola

La evaporación del agua de cola constituye una de las operaciones más complejas en la fabricación de la harina de pescado (Barlow y Windsor, 1984).

Una vez separado el aceite, el agua de cola resultante debe contener una proporción muy baja de este producto, tomándose como aceptables valores inferiores a un 0.5% (Barlow y Windsor, 1984); valores superiores a este parámetro indicarían fallas en el proceso de separación. En cuanto a la fase sólida, el agua de cola esta compuesta tanto por sustancias disueltas como por pequeñas partículas en suspensión, representando en su conjunto entre un 5-7% del total. Este valor puede verse incrementado en determinadas condiciones, como por ejemplo: cuando se utiliza materia prima alterada o de baja calidad o bien cuando ésta ha sufrido un proceso de cocción excesivo (Burgess et al., 1987). Si bien puede parecer despreciable la proporción de sólidos contenidos en el agua de cola, el sólo hecho de eliminarla como efluente, representaría una pérdida de aproximadamente 20% de la materia seca total del pescado o incluso más en las condiciones antes mencionadas (Burgess et al., 1987). Por esto, su tratamiento mediante un proceso económico y eficiente, que no provoque la degradación de proteínas y vitaminas es determinante del rendimiento de la industria (Barlow y Windsor, 1984).

Mediante una centrifugación potente y prolongada sería posible extraer del agua de cola aquellas partículas que aún persistan en suspensión, pero esta operación resultaría ineficaz, debido a que no se extraería la totalidad de los sólidos por este medio y a la vez antieconómica, ya que existe un gran volumen de agua a tratar. La concentración del agua de cola, surge entonces, como un método eficiente y económico para el procesamiento de esta fracción. De no contar con la tecnología necesaria para evaporar el agua de cola, puede aprovecharse esta fracción no concentrada mediante su adición directa a la torta de prensa en proporciones variables según el tipo de secadero y las condiciones de operación. La utilización a través de este procedimiento puede llegar en algunas ocasiones hasta el 40% del agua de cola (Burgess et al., 1987). Sin embargo, la eliminación de un líquido en un evaporador requiere menor gasto de combustible del que requeriría un secadero de harina de pescado (Burgess et al., 1987).

Existe un límite de concentración del agua de cola determinado por la creciente viscosidad del producto y su tendencia a transformarse en un gel sólido que obstruiría las tuberías y maquinaria. Este límite se alcanza normalmente cuando el contenido de materia seca asciende al 40-50%, dependiendo de la materia prima y de las condiciones de evaporación (Burgess et al., 1987).

El agua de cola concentrada puede presentar dos destinos diferentes como lo son: la comercialización directa como tal, bajo la denominación de “solubles de pescado condensados” o la adición a la torta de prensa antes de la desecación, para dar lugar a la denominada “harina de pescado integral o completa”, siendo éste último el más generalizado dentro de la industria, inclusive en Uruguay. Cuando se opta por el primer destino, es preciso añadir al producto conservantes de forma tal de prolongar su vida útil; por el contrario, cuando el agua de cola se concentra y se añade a la torta de prensa tan pronto como se genera no son necesarias precauciones especiales. En los casos en que deba almacenarse el agua de cola diluida durante cierto tiempo antes de su evaporación, es conveniente tomar los cuidados necesarios para su conservación en óptimas condiciones ya que de lo contrario ésta entraría rápidamente en descomposición al enfriarse. Para ello bastaría con disminuir el pH del producto hasta un valor próximo a los 4.5, mediante la adición de algún ácido inorgánico. Este grado de acidez inhibe el desarrollo de microorganismos (Burgess et al., 1987). Al acidificar el agua de cola diluida precipita parte de la materia sólida finamente suspendida, que en ocasiones se recupera centrifugando nuevamente antes de la evaporación.

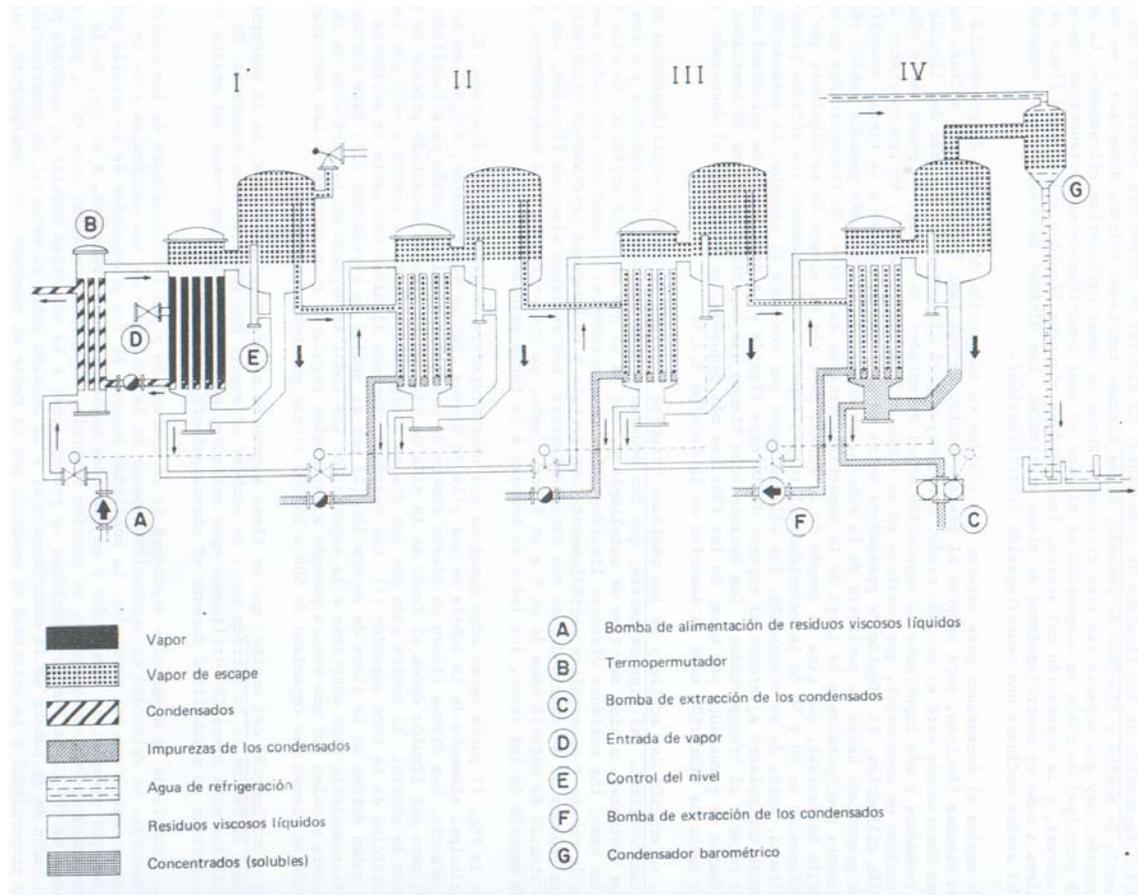
La concentración del agua de cola se realiza en evaporadores de múltiples efectos (ver figura 7), cuyo funcionamiento se basa en el principio de que cuanto más baja es la presión externa menor es el punto de ebullición de un líquido (Burgess et al., 1987). En consecuencia, en una serie de evaporadores que operan a presiones progresivamente decrecientes, el vapor del primer efecto puede reutilizarse para hervir el líquido en el siguiente efecto y así sucesivamente hasta el final de la serie; determinando un ahorro en el consumo de energía, ya que el único calor aportado desde el exterior, es el necesario para generar el vapor a utilizar en el primer efecto. En términos generales el consumo de vapor en los evaporadores de dos, tres o cuatro efectos será de 0.6, 0.4 y 0.3 kg de vapor por kg de agua evaporada respectivamente (Barlow y Windsor, 1984).

En la industria de la harina de pescado el tipo de evaporador más utilizado es el de tres efectos (igual que en Uruguay), pudiendo modificarse considerablemente las condiciones de operación según las necesidades particulares (Burgess et al., 1987). Lo más común, es que en un evaporador de este tipo, el primer efecto funcione a una presión ligeramente superior a la atmosférica, el segundo a una presión similar a ésta y el tercero opere bajo condiciones de vacío. Sin embargo, todas las fases pueden operar a presiones superiores a la atmosférica siendo posible en este caso, emplear el vapor del último efecto en algún otro sector de la fábrica. Esto tendría dos inconvenientes, por un lado las temperaturas relativamente altas pueden determinar una pérdida en el valor nutritivo del producto, y por otro, el vapor posee un fuerte olor que restringe su utilización únicamente a procesos indirectos (Burgess et al., 1987).

Las condiciones usuales de trabajo para el primer efecto podrían ser una presión de 1-1.5 kg/cm<sup>2</sup> y un punto de ebullición de aproximadamente 121 °C; para el segundo efecto una presión similar a la atmosférica y un punto de ebullición de 105 °C y para el

tercer efecto un vacío cercano a 64 cm de mercurio y un punto de ebullición próximo a los 55 °C (Burgess et al., 1987).

**Figura 7:** Evaporador de múltiple efecto para la concentración del agua de cola.



Como puede apreciarse en la figura 7, los evaporadores son de operación continua ingresando en el primer efecto el agua de cola diluida a una velocidad controlada; ésta circula dentro del mismo a través de múltiples tubos, intercambiando calor con el vapor alojado entre éstos y la camisa del evaporador. A continuación el líquido parcialmente concentrado pasa hacia el segundo efecto, recibiendo un tratamiento similar al anterior, reciclándose además, el vapor del primer efecto para inyectarlo en el segundo. El proceso es igual en el tercer efecto, recolectándose el producto concentrado a la salida del mismo. Podrían presentarse variaciones de funcionamiento del proceso básico antes mencionado, tal es el caso de la inyección del agua de cola diluida directamente al segundo efecto, concentrando esta fracción a menor

temperatura. Posteriormente el líquido parcialmente concentrado es trasladado al primer efecto donde la temperatura es superior, suponiendo esto una ventaja debido a que disminuye la viscosidad y destruye bacterias patógenas (Barlow y Windsor, 1984).

Uno de los problemas más importantes que pueden presentarse en esta etapa, consiste en la acumulación de sustancias que dan lugar a la formación de costras sobre la superficie de los tubos del evaporador. Esto conlleva a una considerable pérdida en la transferencia de calor y a un aumento en el consumo de combustible; por lo que resulta esencial la limpieza frecuente de las superficies del mismo, mediante métodos mecánicos y químicos.

#### 2.1.2.4. Deshidratación

En el proceso de deshidratación, la torta de prensa y el agua de cola adicionada, reducen su contenido de humedad desde el 50 al 10% aproximadamente (Barlow y Windsor, 1984). Este bajo nivel de humedad de la harina de pescado, hace al producto estable frente a posibles alteraciones; la materia prima no desecada se deteriora rápidamente por diferentes mecanismos. La deshidratación reduce además, el volumen del producto y permite la elaboración de un polvo, facilitando el transporte y almacenamiento.

Aunque la deshidratación constituye básicamente una operación sencilla, se requiere una considerable habilidad para conseguir las condiciones adecuadas durante el proceso. Si la harina no está lo suficientemente deshidratada, se puede producir el crecimiento de microorganismos (hongos y bacterias), que reducen el valor nutritivo del producto; esto último también podría ocurrir si la deshidratación es excesiva. En éste caso además, se incrementaría el consumo de combustible.

Existe una amplia variedad de deshidratadores que pueden utilizarse en la fabricación de la harina de pescado, pudiendo en determinadas oportunidades, realizarse la combinación de distintos tipos en una misma planta. Esta elección resultaría, de las diferentes características de la materia prima a procesar (consistencia, contenido de humedad y densidad), de forma tal de optimizar las ventajas de cada uno de ellos (Burgess et al., 1987).

Según la acción o modo de deshidratación, se pueden diferenciar dos tipos: deshidratadores directos e indirectos. Los primeros, tienen la ventaja de una mayor capacidad de procesamiento y economía de combustible, siendo su principal desventaja el mayor consumo de aire, lo que se traduce en mayores problemas de contaminación ambiental (fuertes olores) y aumenta las probabilidades de sobrecalentamiento de la harina, siendo esto último poco frecuente. Los deshidratadores indirectos, se calientan generalmente con vapor, siendo levemente inferior la eficiencia en la transferencia de calor y más elevado el consumo de combustible. Sin embargo, este método de

procesamiento es menos drástico para la materia prima y son menores los problemas de contaminación con olores, debido a que la cantidad de aire utilizada se ve reducida (Barlow y Windsor, 1984).

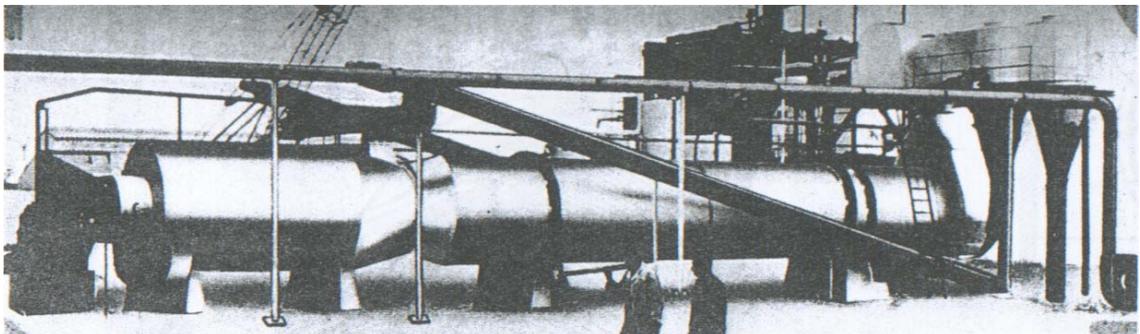
#### 2.1.2.4.1. Deshidratadores directos

Los deshidratadores directos, como su nombre lo indica, son aquellos en los cuales la materia prima y el agente deshidratante, en este caso aire caliente producto de la combustión, permanecen en contacto directo mientras dura el proceso de deshidratación. Su utilización se restringe a aquellas plantas en las cuales es posible contar con una materia prima que no se adhiera ni forme masas de gran tamaño, empleándose principalmente en fábricas de gran escala, que se abastecen de pequeñas especies de pescado graso.

Dentro de este tipo de deshidratadores existe un modelo básico como lo es el “deshidratador de llama”, el cual puede presentar variaciones que dan origen a otros modelos como el “deshidratador neumático de flujo ascendente” y el “deshidratador molturador” (Burgess et al., 1987).

Básicamente un deshidratador de llama, como lo muestra la figura 8, consiste en un cilindro rotatorio de gran longitud ubicado en forma casi horizontal, a través del cual circula la torta de prensa en un flujo de aire caliente que ingresa a una temperatura aproximada de 550 °C y se desplaza paralelamente con ésta.

**Figura 8:** Deshidratador de llama para la fabricación de harina de pescado.



La corriente de aire caliente se produce por la inyección de aire atmosférico que arrastra consigo los gases de combustión. El flujo paralelo del aire con la torta de prensa determina que la evaporación sea muy rápida, impidiendo de esta forma, un sobrecalentamiento del producto. Generalmente la temperatura de salida del producto desecado no supera los 80-90 °C, aproximándose ésta, a la temperatura de salida del aire.

Con la finalidad de mejorar el contacto entre el material a desecar y el aire caliente inyectado, el deshidratador presenta, además de un movimiento de rotación que voltea a la torta de prensa continuamente, deflectores que transportan al material hasta la parte superior del túnel desde donde cae para ser posteriormente recolectado.

Como se mencionó anteriormente, el aire caliente es producto de la combustión y por lo tanto puede contener sustancias tales como: óxidos de nitrógeno, restos de azufre, entre otras; que pueden contaminar a la harina de pescado e incluso reaccionar con ella (Barlow y Windsor, 1984). Por esto, el combustible a utilizar en este tipo de deshidratadores debe presentar bajos contenidos de aquéllas sustancias. Del mismo modo, es necesario revisar periódicamente el correcto funcionamiento de los dispositivos de combustión para asegurarse que ésta sea completa y evitar así disminuciones en el rendimiento de combustible e incrementos en las concentraciones de productos intermedios.

Existen tres variables que determinan la eficiencia de un deshidratador de llama, estas son: la velocidad del aire inyectado, su temperatura y el tiempo de permanencia del producto en el deshidratador. Cada una de éstas deberá ser ajustada según el tipo, cantidad y calidad de la materia prima utilizada (Barlow y Windsor, 1984).

La velocidad del aire contribuye al transporte del material a lo largo del deshidratador y debe ajustarse de forma tal, que asegure el tiempo correcto de permanencia del producto dentro del mismo. La temperatura del aire determinará la velocidad de evaporación, proceso que deberá cumplirse con rapidez para evitar un sobrecalentamiento del producto. El tiempo óptimo de permanencia del producto en el deshidratador es una variable que debe determinarse en la práctica y depende del tipo de materia prima, siendo aproximadamente de 15 minutos (Barlow y Windsor, 1984; Burgess et al., 1987).

Si bien el tiempo de permanencia en un deshidratador de llama es corto, éste puede verse reducido considerablemente en los modelos neumáticos de flujo ascendente y en los deshidratadores molturadores.

A continuación se describirán brevemente las variaciones que puede presentar un deshidratador de llama y que dan origen a otros modelos de deshidratadores.

En cuanto al deshidratador neumático de flujo ascendente, podría decirse que es un deshidratador de llama puesto en posición vertical con los dispositivos de inyección de aire caliente y la entrada de torta de prensa en su parte inferior (Burgess et al., 1987). La rotación del cilindro, en éste caso, es innecesaria tanto para voltear la materia prima como para desplazarla a través del mismo. El desplazamiento se logra mediante la regulación de la velocidad de la corriente de aire, la cual se incrementa lo suficiente como para suspender el producto en la misma y transportarlo a lo largo del secadero.

Esto se ve facilitado en la medida en que el producto se hace cada vez más liviano en virtud de la extracción de humedad. Su estructura de base cónica, en la que la velocidad del aire disminuye progresivamente, le permite actuar además como un separador, siendo gobernado el ascenso de las partículas de torta de prensa principalmente por su contenido de humedad. Esto evita que se produzcan carbonizaciones a la vez que se reduce el tiempo medio de permanencia de la materia prima en el deshidratador.

Las variables que determinan la eficiencia del desecador se adaptan a las condiciones generales de la planta. Las temperaturas usuales del aire entrante oscilan entre 260 a 315 °C y la del aire saliente entre 93 y 110 °C; el volumen de aire inyectado mediante un potente ventilador, varía entre los 450 y 900 m<sup>3</sup>/minuto dependiendo del tamaño del deshidratador. La velocidad del aire se controla mediante un sistema de paletas fijas y móviles. El tiempo medio de permanencia del material en el deshidratador es de unos 90 segundos (Burgess et al., 1987).

En los deshidratadores neumáticos, que implican altas velocidades del aire, la separación de éste y el producto desecado debe efectuarse en un ciclón, que básicamente es una centrífuga de forma especial, que carece de partes móviles. En su lugar la corriente de aire y materia sólida, que se desplaza a gran velocidad, ingresa tangencialmente en la parte superior del cilindro de base cónica que constituye el ciclón. El aire sigue un movimiento en espiral dentro del ciclón que hace que las partículas sólidas choquen y se deslicen contra las paredes laterales, recolectándose en su base. La chimenea, ubicada centralmente en la parte superior del ciclón, extrae el aire libre de partículas sólidas, el cual puede ser reutilizado.

Otra de las variantes que puede presentar un deshidratador de llama se basa en combinar la deshidratación con una molienda previa (Burgess et al., 1987). Esta surge a efectos de dar solución al problema que se presenta, en el deshidratador neumático, para el tratamiento de materiales muy voluminosos con trozos irregulares de diferente tamaño, los cuales no pueden ser transportados correctamente por la corriente de aire utilizada. Además, durante la molienda tiene lugar cierto grado de deshidratación, por lo que resulta lógico adicionar una corriente de aire caliente a la estructura básica de un molino, dando lugar al deshidratador molturador.

Si bien pueden existir diferentes mecanismos a través de los cuales se consigue la molienda, básicamente el efecto logrado es el de disminuir el tamaño de las partículas a la vez que se produce la deshidratación de las mismas, facilitando de esta forma el transporte del material en la corriente de aire caliente. La temperatura del aire que ingresa al deshidratador molturador varía entre 400 a 425 °C, mientras que la de salida lo hace entre 110 y 120 °C, no presentando grandes variaciones entre los diferentes modelos. Sin embargo, existen diferencias importantes en cuanto a la velocidad del rotor y la del flujo de aire, pudiendo variar entre 230 y 1075 rpm para la primer variable y entre 170 y 670 m<sup>3</sup>/minuto para la segunda (Burgess et al., 1987).

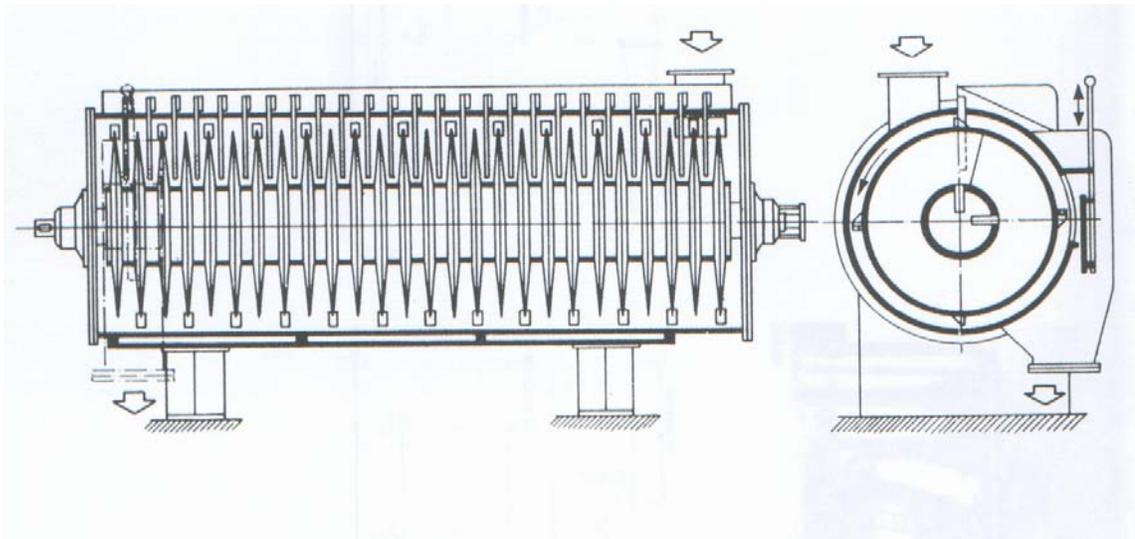
El producto resultante no queda lo suficientemente molido como para prescindir de la fase de molienda usual, sin embargo, gran parte del producto puede cernirse sin requerir una posterior reducción de tamaño, con lo que se economiza hasta el 50% de capacidad de molienda y de gasto de energía (Burgess et al., 1987).

#### 2.1.2.4.2. Deshidratadores indirectos

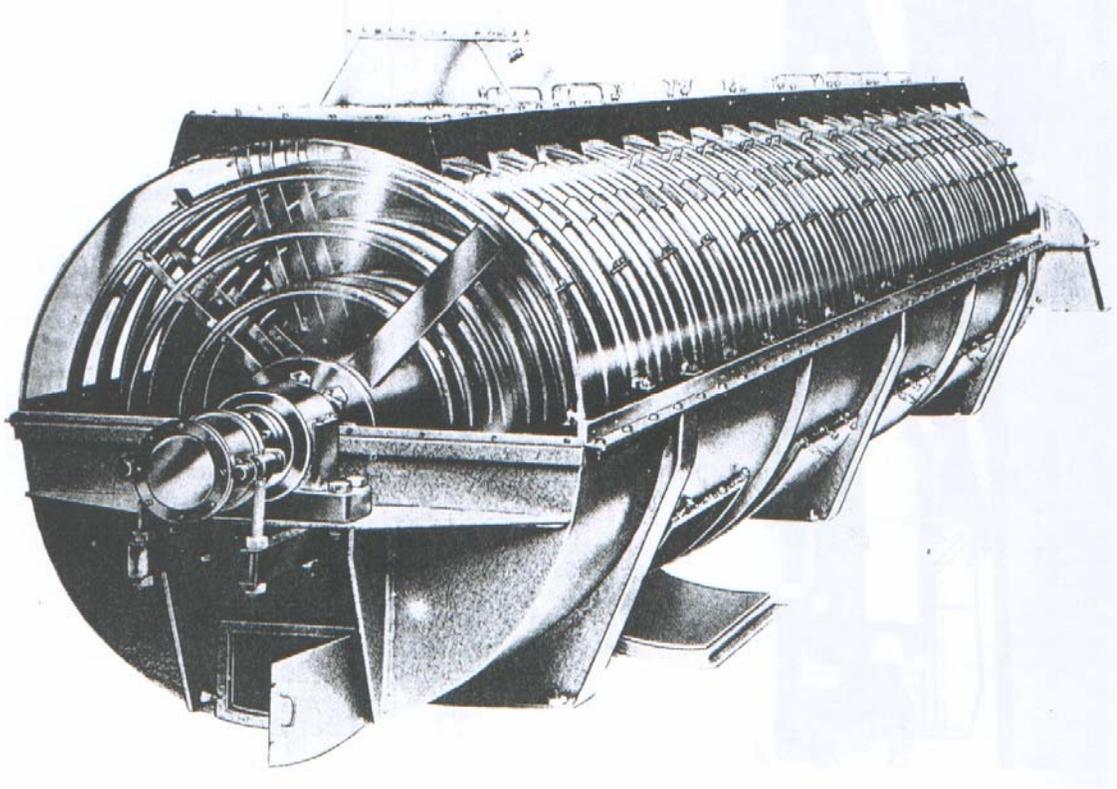
Los deshidratadores indirectos (ver figura 9 y figura 10) son también deshidratadores rotatorios constituidos básicamente por un cilindro de gran tamaño donde se produce la deshidratación, no existiendo contacto directo entre la materia prima y el agente deshidratante. La desecación se realiza en forma indirecta a través del contacto con discos, tubos, serpentines o por una camisa calentada con vapor (Barlow y Windsor, 1984). En FRIPUR se utiliza un deshidratador indirecto de tubos.

A diferencia de los directos, este tipo de deshidratadores, están contruidos de forma tal de poder manipular una materia prima como la resultante del procesamiento de los desperdicios del pescado blanco, que se une formando grandes masas y se adhiere a las superficies con las que contacta afectando la transferencia de calor (Burgess et al., 1987). Para esto, el deshidratador cuenta con un movimiento de rotación y con deflectores en la pared interna del mismo que agitan el material y además, con paletas “rascadoras” que evitan la adherencia a las superficies.

**Figura 9:** Deshidratador de discos rotativos para la fabricación de harina de pescado.



**Figura 10:** Deshidratador de serpentines para la fabricación de harina de pescado.



La temperatura de la superficie del deshidratador y por lo tanto a la cual se va a llevar a cabo el proceso, depende de la del elemento calefactor, utilizándose para esto generalmente vapor. La temperatura de este último depende de su presión (Barlow y Windsor, 1984). Los deshidratadores indirectos son instalaciones más complicadas que los directos y son, en esencia, recipientes que funcionan a presión. Normalmente la presión utilizada es de 6 atmósferas (relativas) correspondiendo esta a una temperatura de vapor de aproximadamente 170 °C (Barlow y Windsor, 1984). Al igual que en los deshidratadores directos, las partículas de harina no suelen alcanzar estas temperaturas, debido a la rápida evaporación del agua de su superficie.

A lo largo del deshidratador se hace circular una corriente de aire de forma tal de eliminar el vapor de agua producido por el calentamiento. Este aire se produce por acción de un ventilador centrífugo y circula en dirección opuesta a la del material a desecar. El aire frío, al ingresar al deshidratador y calentarse, adquiere una baja humedad relativa y por lo tanto una elevada capacidad de captar agua justamente donde es más necesario (Burgess et al., 1987). Esto es, en donde el producto se encuentra casi seco y la posterior evaporación se hace progresivamente más lenta debido a que la

presión de vapor del agua remanente desciende rápidamente. En la proximidad de la entrada al deshidratador la evaporación es fácil y rápida, el agua presente en la materia prima tiene una presión de vapor elevada y en tales condiciones, la corriente de aire mucho más húmeda es aún capaz de captar vapor de agua a una velocidad razonable.

En los deshidratadores indirectos el proceso se controla a través de la temperatura del vapor y el tiempo de permanencia del material en el mismo, siendo de aproximadamente 30 minutos como mínimo (Barlow y Windsor, 1984).

Cabe destacar, que ninguno de los dos grandes tipos de deshidratadores dispone hasta el momento, de un método instrumental eficaz para la determinación continua del contenido de humedad de la harina de pescado a lo largo y a la salida del deshidratador. La sensación del material en la mano resulta aún el mejor sistema para esto; conociéndose la humedad real a través de un análisis de laboratorio realizado posteriormente a la obtención del producto (Barlow y Windsor, 1984). Los deshidratadores directos cuentan con la ventaja de que es posible controlar la temperatura de salida del aire, y de acuerdo con esta medida es posible efectuar un ajuste que resulta de utilidad para evitar grandes cambios en el producto obtenido.

#### 2.1.2.5. Molienda, envasado y almacenamiento

El material procedente de los deshidratadores posee un tamaño de partículas muy variado que va desde fragmentos relativamente grandes de hueso a polvo fino. Por este motivo, el objetivo del proceso de molienda consiste en producir un polvo homogéneo con buen aspecto, libre de sustancias extrañas que pueda manipularse fácilmente y mezclarse sin dificultad con el resto de los componentes de una ración.

Previo al proceso de molienda es necesario eliminar del material las sustancias extrañas que este pueda contener, tales como clavos, anzuelos, maderas, piedras, entre otros. En virtud de lo cual se procede a cernir el material en tamices agitados y transportarlo a través de un campo magnético. Es preciso además, dejar enfriar el material procedente de los deshidratadores debido a que la molienda en caliente podría determinar la producción de incendios, en especial si se trata de una harina con un elevado porcentaje de aceite en la cual la oxidación del mismo genera cantidades importantes de calor adicional. Por otro lado, y en particular en el caso de la harina elaborada con pescado blanco, la adherencia del producto determinaría un mayor gasto de energía en la molienda así como también podrían formarse acúmulos de material después del envasado.

Hay en el mercado diferentes tipos de molinos para la elaboración de harina de pescado, siendo los más utilizados los molinos de martillo. Estos están compuestos por diversos brazos metálicos, articulados a un eje central o rotor que gira a gran velocidad; el choque violento con los fragmentos del material determina la molienda. La harina,

una vez triturada, sale del molino atravesando una placa perforada de tamaño variable según los requerimientos de tamaño de partícula. Existen diferentes exigencias por parte de los consumidores en cuanto a dicha variable, prefiriendo aquellas harinas con baja proporción de las de pequeño tamaño, que determinan pérdidas y la formación de polvo durante el manejo. Resulta difícil lograr la homogeneidad de partículas en la harina de pescado, pero la proporción de partículas muy pequeñas, puede reducirse mediante un tamizado previo a la molturación que evitaría la trituración de partículas ya de por sí pequeñas además de reducir el gasto de energía.

En la planta de FRIPUR, el material procedente del deshidratador es transportado por un tornillo sin fin, hacia un molino de martillo que trabaja a 1500 rpm., contando con placas perforadas con un diámetro de 6 mm. (Silveira com. pers., 2003).

Los molinos de este tipo son robustos y no suelen ocasionar grandes problemas, siendo su única desventaja real el hecho de que son muy ruidosos. Por lo tanto, se ubican en un lugar adecuado y aislado del resto de la fábrica teniendo la precaución de reducir al máximo la vibración.

Con la finalidad de preservar en óptimas condiciones la harina de pescado durante su almacenamiento y hasta el consumo, evitando el sobrecalentamiento y consecuente riesgo de incendio, es frecuente la utilización de antioxidantes, sobre todo en aquellas harinas elaboradas a partir de pescados grasos. El aceite contenido en estas harinas reacciona con el oxígeno atmosférico determinando un proceso oxidativo que libera calor y afecta el valor nutritivo de las mismas. La adición de estas sustancias puede realizarse previo a la etapa de molienda, durante la misma o posteriormente a este proceso como en el caso de la planta de FRIPUR, y en cantidades variables dependiendo de la materia prima utilizada. El antioxidante utilizado en dicha planta es etoxiquina líquida en cantidades que oscilan entre 700 y 1.000 ppm (Silveira com. pers., 2003).

Existe otra alternativa a la adición de antioxidante, que consiste en “madurar” la harina de pescado, disipando de esta forma el calor que se genera durante el proceso oxidativo de los aceites. El proceso de maduración consiste en mantener a la harina, durante las primeras cuatro semanas posteriores a su elaboración, en envases apartados entre sí, para posteriormente estibarlos de tal forma de permitir una adecuada ventilación que disipe el calor del conjunto. En caso de un almacenamiento a granel, es conveniente no superar los dos metros de altura removiendo el material con la finalidad de evitar temperaturas superiores a los 35 °C. Vale la pena resaltar que la adición de antioxidantes, suele dar lugar a un producto de mejor calidad debido a que evitaría la pérdida de valor nutritivo como consecuencia del proceso oxidativo, hecho que no ocurriría con la maduración. Durante esta última, se evitaría únicamente el sobrecalentamiento del producto como resultado del proceso de oxidación.

En Uruguay, la harina previamente molida y tratada con antioxidante es transportada mediante un tornillo sin fin hacia los silos de almacenamiento. En estas estructuras la harina permanece recirculando, durante 14 a 16 horas aproximadamente para lograr un descenso de la temperatura que permita su correcto envasado. Cabe resaltar, que este procedimiento permite además mezclar partidas de distintas características, originando un material homogéneo en cuanto a los parámetros de calidad fijados (Silveira com. pers., 2003).

Si bien la harina de pescado se comercializa principalmente en forma de polvo de tamaño de partículas variable, es frecuente el granulado de la misma, aspecto que mejora su manejo y reduce las pérdidas por volatilidad del polvo (Barlow y Windsor, 1984).

La harina de pescado que no se transporta a granel es envasada en bolsas de diferente material y peso. Entre los materiales utilizado como envase se encuentra el plástico, arpillera o papel, determinándose su elección de acuerdo al material a transportar, a la distancia, forma y condiciones de transporte y a las preferencias del cliente. FRIPUR envasa en bolsas de plástico (plastillera) de 35 kg.

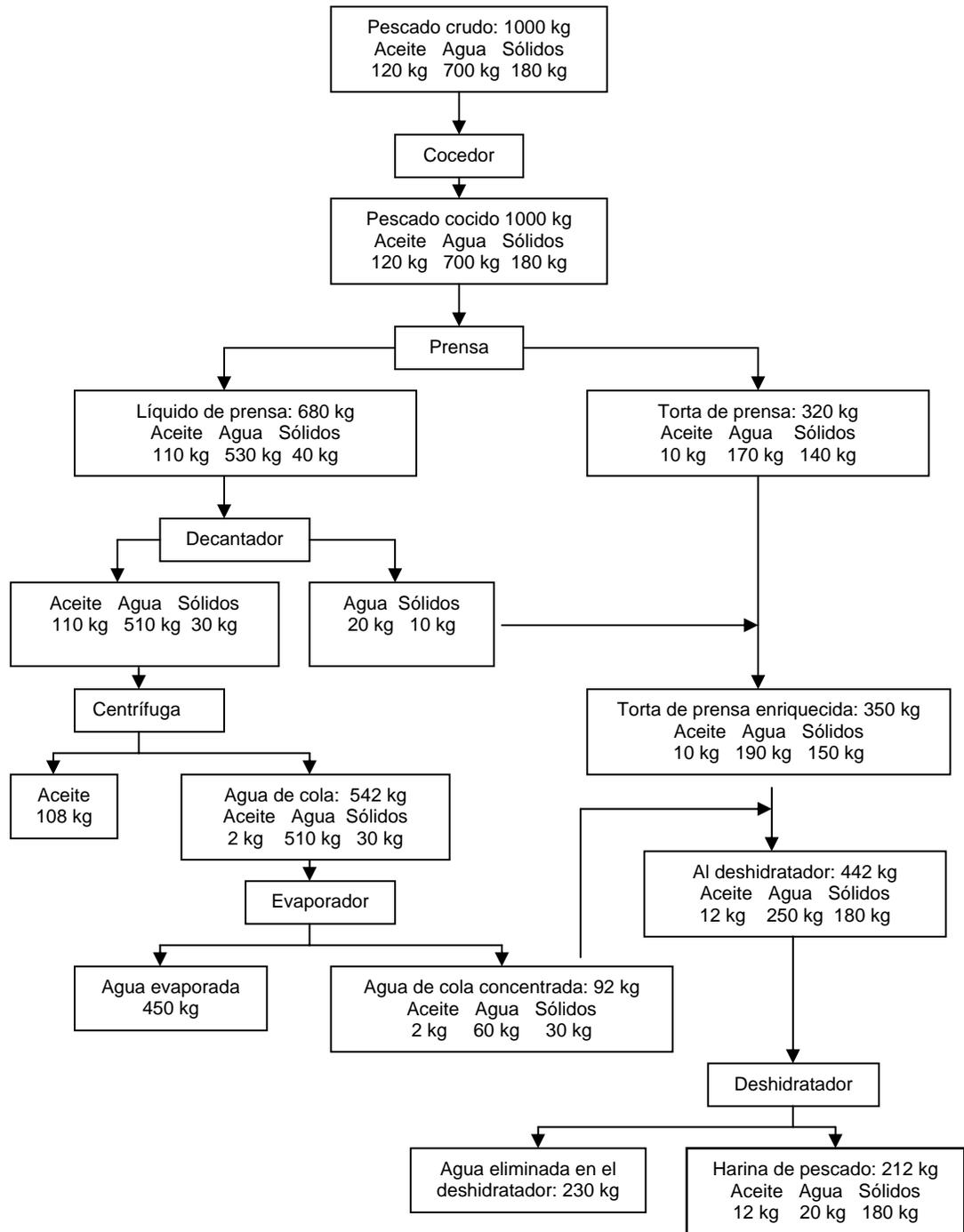
#### 2.1.2.6. Rendimientos y composición durante el procesamiento

En la figura 11 se observan los cambios en cantidad y composición que va sufriendo la materia prima durante el proceso productivo de la harina de pescado. En términos generales, partiendo de 1.000 kg de pescado crudo se obtiene, como producto final, 212 kg de harina de pescado, determinando un rendimiento de fabricación de aproximadamente 21%.

Como ya fuera mencionado, existe una gran variabilidad entre especies así como también, entre estaciones dentro de una misma especie, en lo que respecta al contenido de agua y aceite, encontrándose estas dos fracciones inversamente relacionadas. Estas variaciones no ocasionan diferencias sustanciales en el producto obtenido, pero sí, en los rendimientos durante el proceso de fabricación. El procesamiento de una especie con alto contenido en aceite determinará un mayor rendimiento en este subproducto, a la vez que el menor porcentaje de agua implica menores esfuerzos en la eliminación de esta fracción.

A modo de ejemplo, y con la finalidad de explicitar los rendimientos del proceso en su totalidad se considera la siguiente composición promedio de la materia prima: 70% de agua, 18% de sólidos totales y 12% de aceite.

**Figura 11:** Composición y rendimientos de la materia prima durante la fabricación de harina de pescado.



Como puede apreciarse en la figura 11, durante la cocción no se produce ningún cambio en cuanto a la composición de la materia prima, presentándose éstos recién en la fase de prensado. Durante esta última se obtiene 320 kg de torta de prensa y 680 kg de líquido de prensado. La torta de prensa por su parte, presenta una composición de 53% de agua, 44% de sólidos totales y 3% de aceite, mientras que la composición del líquido de prensado es de 78%, 6% y 16% de aquéllas fracciones respectivamente.

A continuación tiene lugar el tratamiento de los líquidos de prensado, etapa que tiene dos objetivos principales, por un lado separar de la mejor manera posible el aceite del agua y por otro concentrar el agua de cola de tal forma de poder reaprovechar los sólidos contenidos en esta fracción. El primer tratamiento que reciben los líquidos de prensado consiste en una filtración previa al pasaje a una centrífuga de decantación, una vez llevados a cabo estos procesos, se recupera un total de 10 kg de materia sólida contenidos en 20 kg de agua que se adicionan a la torta de prensa. Esta recuperación representaría aproximadamente un 5-6% de los sólidos originales. El resto de la fracción de líquido de prensado contiene aproximadamente el 92% (110 kg) del aceite original, por lo cual se procede a su extracción mediante centrifugación quedando como residuo la denominada agua de cola. De ese 92% de aceite, es posible recuperar mediante la centrifugación el 98%, equivalentes a 108 kg. De esta forma el rendimiento en aceite representa el 90% (108 kg de 120 kg contenidos en la materia prima).

Por otro lado, del proceso de centrifugación antes citado, se obtiene 542 kg de agua de cola conteniendo 94% de agua, 5% de sólidos totales y menos de 1% de aceite. En virtud de que la proporción de sólidos totales de esta fracción representa entre un 15-20% de los sólidos originales de la materia prima, su reutilización es determinante del rendimiento total del proceso productivo. Para ello, se concentra esta fracción mediante evaporación, adicionando el concentrado a la masa principal de torta de prensa antes de la deshidratación. Durante la concentración, se evapora el 88% del agua, quedando como resultado, 92 kg de concentrado con la siguiente composición: 33% de sólidos (30 kg), 65% de agua (60 kg) y 2% de aceite (2 kg).

Previo al ingreso al deshidratador, se mezcla la torta de prensa enriquecida en sólidos con el agua de cola concentrada, determinando un suministro total al deshidratador de 442 kg, conteniendo 12 kg de aceite, 250 kg de agua y 180 kg de sólidos, es decir, el 100% de los sólidos de la materia prima. Durante el proceso de deshidratación se eliminan 230 kg de agua, dando como resultado 212 kg de harina de pescado, con la siguiente composición: 180 kg de sólidos, 20 kg de agua y 12 kg de aceite, representando esto, 85%, 9% y 6% respectivamente.

Los parámetros de elaboración fijados por FRIPUR son: un mínimo de 60% de proteína, 10% de humedad y de 8% de grasa como máximo (Silveira com. pers., 2003).

En conclusión, de 1.000 kg de pescado crudo con 180 kg de sólidos, 700 kg de agua y 120 kg de aceite, se obtiene de su procesamiento 212 kg de harina con la composición antes mencionada, y 108 kg de aceite de pescado.

## 2.2. LA HARINA DE PESCADO COMO ALIMENTO PARA ANIMALES

La harina de pescado es utilizada principalmente en la alimentación de aves de corral y cerdos, donde la calidad de la proteína y el contenido en vitaminas tiene una importancia considerable (Sparre, 1965); también para la acuicultura y la producción de animales para peletería. En Europa se utiliza cierta cantidad de harina de pescado en alimentación de rumiantes, sin embargo, esta práctica es limitada en América del Norte (Church y Pond, 1996).

La inclusión de harina de pescado en la dieta animal, incrementa la productividad a la vez que mejora la eficiencia con la cual el alimento es convertido en producto animal (eficiencia de conversión del alimento), siendo de especial valor en las dietas de animales en crecimiento (FAO, 1986). Sin embargo, la utilización de elevadas proporciones en la dieta, principalmente de monogástricos, puede originar problemas tales como, grasa líquida (FEDNA, 1997) y sabores a pescado en los productos obtenidos, carne, huevos y leche (Barlow y Windsor, 1984; Church y Pond, 1996; FEDNA, 1997).

A pesar de las ventajas que podría presentar la inclusión de harina de pescado en la dieta de animales, su elevado costo limita su utilización, principalmente en rumiantes donde la relación costo/beneficio no es favorable. En Uruguay un kilogramo de harina de pescado tiene un costo de U\$S 0,6 (U\$S 600/Ton) (Silveira com. pers., 2003).

### 2.2.1. Composición

La harina de pescado se destaca por ser un alimento con elevado contenido en proteína, de alta digestibilidad y lentamente degradable en el rumen (ARC, 1980; NRC, 1985 citados por Hussein y Jordan, 1991) y por presentar un perfil de aminoácidos similar al requerido para el crecimiento y producción animal (Tamminga, 1982 citado por Hussein y Jordan, 1991), con niveles especialmente elevados de aminoácidos esenciales como lisina y metionina (Sparre, 1965; Barlow y Windsor, 1984; FAO, 1986; Harris y Staples, 1992; Church y Pond; 1996), los cuales son deficientes en otros alimentos utilizados, como por ejemplo, en los granos de cereales (Church y Pond, 1996).

Presenta además un elevado valor energético, proporcionado por su contenido graso, constituido principalmente por ácidos grasos de cadena larga (mayor a 20 átomos de carbono) poliinsaturados (Sparre, 1965; Barlow y Windsor, 1984). Aproximadamente

un tercio de la grasa total está constituida por ácidos grasos esenciales de cadena larga (mayor a 18 C) de la serie n-3 (FEDNA, 1997).

Asimismo, el contenido en minerales y vitaminas es elevado, principalmente en calcio y fósforo y vitaminas del complejo B (Sparre, 1965; Barlow y Windsor, 1984; FAO, 1986; Church y Pond, 1996).

No es posible establecer un único parámetro de composición química de la harina de pescado, en virtud de los numerosos factores que la afectan, sin embargo, la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA, 1997), analizando muestras de diferentes harinas, mencionan el siguiente rango que se observa en el cuadro 5.

**Cuadro 5:** Composición de la harina de pescado en porcentaje.

	<b>Nº de muestras</b>	<b>Promedio (%)</b>	<b>Mín. (%)</b>	<b>Máx. (%)</b>	<b>C.V. (%)</b>
<b>Humedad</b>	604	7.3	0.7	11.6	20.6
<b>Proteína</b>	853	63.8	50.9	75.2	7.2
<b>Grasa</b>	731	9.7	3.4	16.4	20.4
<b>Cenizas</b>	722	16.9	10.0	26.2	20.5
<b>Calcio</b>	224	3.8	0.5	7.7	41.1
<b>Fósforo</b>	249	2.5	1.0	4.0	22.1

C.V.: coeficiente de variación

Fuente: Adaptado de FEDNA (1997)

#### 2.2.1.1. Proteína

De lo expuesto anteriormente, se evidencia el elevado contenido total de proteína cruda en la harina de pescado, lo que permite clasificar a este alimento como un concentrado proteico (PC mayor a 20% en base seca (BS)).

La caracterización y evaluación de un suplemento proteico para la alimentación animal, considerando únicamente su contenido de proteína cruda, es incompleta. Es preciso conocer, además de las características de sus componentes nitrogenados, en qué medida la ingestión de éstos satisface las necesidades de los animales para las funciones de mantenimiento y producción. En términos generales, y para toda clase de animales, el “valor proteico” de un alimento es función de su aporte de proteína, de la cantidad y

relación entre los aminoácidos esenciales<sup>1</sup>, de la relación de éstos con los no esenciales y de la disponibilidad en el intestino delgado de los aminoácidos.

El contenido de proteína total se determina indirectamente, a través de la medición del contenido de nitrógeno por el método de Kjeldahl. En el mismo se asume, que todo el nitrógeno del alimento está bajo la forma de proteína y que todas las proteínas contienen 16% de nitrógeno; supuestos que en la naturaleza no siempre son válidos. A este respecto, debe considerarse que en los forrajes, la proteína verdadera constituye un 70% del nitrógeno total, mientras que en el caso de los granos y los alimentos de origen animal por lo menos el 95% del nitrógeno está integrado en las proteínas (Trujillo et al., 1999). Chalupa y Sniffen (1996), en su investigación obtuvieron un valor de 5% de nitrógeno no proteico en la harina de pescado. Cuando se utiliza como materia prima, especies de pescados con elevados contenidos de nitrógeno no proteico, en forma de urea principalmente, como en la raya, tiburón, entre otros, pueden existir sobre valoraciones del contenido de proteína (Barlow y Windsor, 1984).

La proteína de la harina de pescado se caracteriza por presentar elevados coeficientes de digestibilidad, según la FEDNA (1997), estos valores son de: 90% en rumiantes, 88% para aves y conejos, 87% en cerdos y 86% en equinos. Según Sparre (1965), pueden encontrarse valores inferiores a 80% en harinas de menor calidad, elaboradas con materias primas alteradas y/o con defectos en el procesamiento (sobrecalentamiento durante el deshidratado, largo período de almacenamiento del producto o sobrecalentamiento espontáneo durante el mismo).

La degradación en el rumen de la proteína de la dieta es el principal factor que afecta la calidad de los alimentos para los rumiantes, debido a su efecto sobre la síntesis de proteína microbiana en el rumen y sobre la cantidad total de proteína suministrada al intestino delgado para la absorción (Stokes et al., 1991; Clark et al., 1992 citados por Yoon et al., 1996).

La harina de pescado, al igual que las demás fuentes de proteína de origen animal, presenta una mayor resistencia a la degradación microbiana en el rumen comparado con las fuentes de proteína vegetal (Harris y Staples, 1992). En general la harina de pescado es considerada como una fuente proteica de elevado escape ruminal (ARC, 1980; NRC, 1985a citados por Hussein y Jordan, 1991). La degradabilidad media de la proteína de la harina de pescado es de 40% (Harris y Staples, 1992; FEDNA, 1997), siendo altamente variable; la FEDNA (1997) señala un coeficiente de variación (C.V.) de 26% para este parámetro. Estudios llevados a cabo por Orskov et al.

---

<sup>1</sup> Aminoácido esencial es aquel que el animal no es capaz de sintetizar o que no es capaz de producir en las cantidades y/o en las velocidades necesarias para satisfacer los requerimientos de las funciones de mantenimiento y de producción.

(1971); Miller (1973) y Hume (1974) citados por Hussein y Jordan (1991), mencionan un rango de degradabilidad ruminal de la proteína de la harina de pescado entre 30 y 70%, sin asignarle esta variación a los efectos del procesamiento. Sin embargo, los resultados de Mehrez et al. (1980) indican que el método de procesamiento puede tener un pronunciado efecto sobre la degradabilidad de la proteína en el rumen, pudiendo alterar este valor en más de un 50%.

Existen numerosos factores del procesamiento que afectan la degradabilidad ruminal de la proteína de la harina de pescado, entre ellos, Mehrez et al. (1980) mencionan, el tiempo de almacenamiento de la materia prima previo al procesamiento, la utilización de formaldehído, las condiciones de deshidratación y la adición de antioxidante; Johnson y Savage (1987) citan además, la calidad del material crudo, la proporción de agua de cola reincorporada a la torta de prensa y la temperatura del evaporador. Yoon et al. (1996) agregan a la especie de pescado empleada como materia prima.

La especie de pescado utilizada para producir harina, tiene influencia sobre la degradación ruminal de la proteína. Stern y Mansfield (1989) citados por Hussein y Jordan (1991), utilizaron el dato de desaparición del nitrógeno in situ de Sticker et al. (1986) y calcularon que la degradación ruminal de la proteína de la harina de pescado elaborada a partir de arenque y anchoa fue aproximadamente 40% más baja que la harina de pescado de róbalo.

Como ya se ha mencionado, la calidad de la materia prima es un aspecto determinante de los resultados obtenidos en la fabricación de harina de pescado. Según Mehrez et al. (1980), el factor más importante que afecta la degradabilidad ruminal de la proteína de la harina de pescado es la frescura de la materia prima. Estos autores reportan que el tiempo creciente de almacenamiento del pescado previo al procesamiento, superior a tres días, tuvo efecto sobre dicha variable, incrementándola significativamente en un 14 a 15%. Por otro lado, Johnson y Savage (1987), mencionan que la utilización de pescado deteriorado debido a los procesos de autólisis, lipólisis y degradación microbiana, resulta en una masa de carne blanda que coagula pobremente durante la cocción, ocasionando dificultades en el prensado y generando harinas con niveles más bajos de proteína y mayor contenido de grasa.

La frescura de la materia prima puede ser estimada a través del contenido de nitrógeno volátil total (TVN) en la harina de pescado. Un contenido menor o igual a 0.15% de la materia seca de la harina, indica que el material utilizado como materia prima era fresco; por el contrario contenidos en TVN mayores a 0.15% indican la utilización de materiales alterados (Yoon et al., 1996). El almacenamiento del pescado previo al procesamiento incrementa el contenido de TVN (Mehrez et al., 1980; Kjeldsen et al., 1983); a la vez que reduce a cero el contenido de óxido de trimetilamina (Mehrez et al., 1980). En el trabajo de Yoon et al. (1996), se detectó una relación lineal positiva

( $r=0.91$ ,  $p=0.0001$ ) entre el contenido de TVN y la degradación ruminal in situ, cuando el contenido de TVN fue menor a 0.22%; cuando fue superior a ese valor, la degradación ruminal decreció y la relación se transformó en cuadrática ( $r=0.87$ ,  $p=0.0001$ ). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Mehrez et al (1980) y por Goldhor y Regenstein (1987) citados por Yoon (1996), en cuanto a que la calidad (frescura) de la materia prima afecta la degradación ruminal de la proteína.

El formaldehído es utilizado como conservador en el almacenamiento del pescado previo al procesamiento, actuando además como agente endurecedor del pescado blando y la materia prima alterada (Sparre, 1965; Mehrez et al., 1980). Investigaciones de Mehrez et al. (1980), indicaron que la adición de formaldehído en cantidades de 138 g cada 100 kg de pescado fresco, redujo significativamente el porcentaje de degradación ruminal de la proteína en la harina de pescado, entre 3 y 7% cuando el pescado fue procesado dentro de los tres días posteriores a la adición; pero no tuvo efecto significativo cuando el pescado fue procesado después de un almacenamiento prolongado. Asimismo, el almacenamiento del pescado sin adición de formaldehído, incrementó la proteína soluble casi un 100%, indicando un mayor grado de proteólisis. Las harinas de pescado procesadas a partir de pescado fresco, presentaron un contenido aproximado de 20% de proteína soluble al agua, independientemente del tratamiento con formaldehído.

Johnson y Savage (1987) citados en la revisión realizada por Hussein y Jordan (1991), mencionan que la temperatura utilizada en el evaporador para concentrar el agua de cola, puede tener efecto sobre la calidad de la proteína de la harina integral (con inclusión del agua de cola concentrada) cuando la misma supera los 150 °C. Además, estos autores señalan que la cantidad de agua de cola concentrada, adicionada a la torta de prensa, afecta el contenido de proteína cruda de la harina de pescado. Investigaciones de Yoon et al. (1996) indican que la adición de solubles de pescado (agua de cola concentrada) fue la variable que estuvo más claramente relacionada con cambios en la degradación ruminal de la proteína de la harina de pescado elaborada con róbalo ( $r=0.869$ ,  $p=0.0001$ ).

La deshidratación de la harina de pescado es otro de los procesos importantes en la elaboración, desde el punto de vista de la calidad del producto obtenido. En un trabajo realizado por Mehrez et al. (1980) se investigó, entre otros factores, el efecto del tipo y condiciones de deshidratación sobre la degradación ruminal de la proteína de la harina de pescado. En el mismo, se evidenció que la deshidratación indirecta a vapor, provocó un leve descenso en la degradabilidad de la proteína y un ligero incremento de la digestibilidad a la pepsina de los residuos no degradables en rumen, comparados con la deshidratación directa con aire caliente. Además, las harinas de pescado deshidratadas

mediante métodos indirectos, presentaron un contenido en proteína soluble al agua levemente inferior y un índice de yodo<sup>2</sup> ligeramente superior, que aquéllas deshidratadas por métodos directos. Esto último se debería posiblemente a un mayor grado de oxidación en el almacenamiento. Sin embargo, estos autores concluyen que los efectos del deshidratado parecen depender de sí la harina fue procesada a partir de pescado fresco, ya que no existieron diferencias entre métodos de secado para aquellas harinas procesadas a partir de materia prima almacenada. Para el caso de las harinas de pescado procesadas a partir de materia prima fresca, el efecto depende de sí ésta tuvo ó no, adición de formaldehído; en el primer caso no hubo diferencias, mientras que cuando la materia prima no fue tratada con formaldehído, el deshidratado indirecto a vapor parece tener efectos depresores sobre la degradabilidad ruminal similares a los de la adición de formaldehído.

Según demostraron Chen et al. (1987) citados por Yoon et al. (1996), la temperatura de deshidratación afecta la proporción de la proteína del alimento, susceptible a la degradación en el rumen. Incrementos de la temperatura determinaron la formación de puentes disulfuro (S-S) como resultado de la oxidación de los grupos sulfhídricos (-SH) de los aminoácidos azufrados (Opstvedt et al., 1984 citados por Yoon et al., 1996). La formación de puentes disulfuros entre cisteína y cistina se incrementó de forma lineal cuando la temperatura de deshidratación ascendió desde 50 a 115 °C (Opstvedt et al., 1984 citados por Yoon et al., 1996). La formación de estos puentes, reduce en forma muy importante la tasa de proteólisis ruminal de las proteínas solubles e insolubles (Mahadevan et al., 1980 citados por Yoon et al., 1996). Temperaturas de deshidratación del orden de los 140 a 150 °C pueden provocar reducciones en la disponibilidad de lisina, metionina, cistina y triptófano, debido a interacciones con las grasas oxidadas (FAO, 1981 citado por Bligh et al., 1988) así como, disminuciones en la disponibilidad de lisina debido a reacciones de los componentes carbonil con los grupos  $\epsilon$ -amino de la proteína de pescado (Olcott, 1962 citado por Bligh et al., 1988).

En la investigación llevada adelante por Yoon et al. (1996), la temperatura de salida del deshidratador se midió para determinar la intensidad del tratamiento térmico. La ausencia de relación entre la temperatura de salida del deshidratador y la degradación ruminal in situ ( $r=0.22$ ,  $p=0.39$ ), según dichos autores, se explicó por el estrecho rango de temperaturas de deshidratado (entre 60 y 88 °C) y la falta de temperaturas rigurosas ( $>$  a 88 °C) utilizadas para el secado de las harinas de pescado evaluadas en el experimento.

---

<sup>2</sup> El índice o número de yodo, es una medida del grado de hidrogenación (saturación) de los ácidos grasos que componen la grasa. Una grasa completamente saturada, como la triestearina tiene un número de yodo igual a cero, mientras que una grasa líquida (mayor insaturación), como el aceite de linasa, tiene un número de yodo de 175 a 202 (Church y Pond, 1996).

Opstvedt (1974) citado por Mehrez et al. (1980), señala que los lípidos residuales en la harina de pescado pueden experimentar oxidaciones, lo que reduce su extractabilidad y la solubilidad de la proteína. Sin embargo, Mehrez et al. 1980 concluyeron que la adición de antioxidante no tuvo efecto sobre la degradación ruminal de la proteína de la harina de pescado evaluada en su investigación. Por el contrario, Hoover et al. (1989) citados por Hussein y Jordan (1991) encontraron que la degradación de la proteína, a través de cultivos continuos de contenido ruminal, fue mayor para aquellas dietas que incluían harina de pescado desgrasada en comparación con otras conteniendo harinas de pescado con diferentes niveles de grasa.

Yoon et al. (1996) en su investigación intentaron evaluar además, la capacidad de las mediciones de rutina en la industria sobre la calidad de la harina de pescado, para predecir la degradación ruminal de la proteína. Las mediciones que consideraron a nivel industrial fueron, el contenido en TVN, la proporción de solubles de pescado (agua de cola) reincorporados a la torta de prensa (SOLADD), la temperatura de salida del deshidratador (DRYT) y los contenidos de proteína (PC) y grasa total (TOTFAT). Por otro lado, estimaron la proteína soluble y la degradación ruminal, a través de las siguientes técnicas: bolsas in situ, ensayo de ficina y digestión con pepsina. Cuando se utilizaron todas las variables que pueden surgir a través de éstas tres técnicas, se obtuvo la máxima predicción, explicando el 99% de la variación de la degradación ruminal. Cuando sólo se utilizaron las mediciones de rutina industrial para estimar la degradación ruminal, la SOLADD sólo explicó el 75% de la variación observada; más del 81% de la misma fue explicada cuando se incluyó en las ecuaciones de predicción, además de SOLADD, DRYT y PC. Los autores concluyen que, las características de la harina de pescado afectan la tasa de degradación de la proteína en el rumen; la misma puede ser estimada por los resultados de proteína soluble obtenidos a través de las tres técnicas citadas, sin embargo, la inclusión de estimaciones de degradación mejora la capacidad de predecirla correctamente. La industria de la harina de pescado puede utilizar, las características de rutina del procesamiento o bien las mediciones de proteína soluble, para predecir la degradación ruminal de sus productos. Estas mediciones simples, rápidas y poco costosas pueden ser utilizadas para obtener estimaciones confiables de la degradación ruminal de la proteína de la harina de pescado.

La fracción degradable de diversas fuentes proteicas de origen animal que son consideradas resistentes a la degradación ruminal, puede estar compuesta por cantidades importantes de proteínas solubles; por ejemplo, la proteína soluble representó entre el 50 y el 80% de la proteína degradable de la harina de pescado, de la harina de carne y hueso y de la harina de plumas hidrolizada (Casamiglia et al., 1995 citados por Yoon et al., 1996). Los datos experimentales de Yoon et al. (1996) concuerdan con los citados, señalando valores entre 49 y 83% de proteína soluble en la fracción degradable.

Una característica destacable de la harina de pescado es que presenta cantidades importantes y proporciones ideales de aminoácidos esenciales altamente digestibles, que

varían relativamente poco con el origen de la harina (Barlow y Windsor, 1984; FEDNA, 1997), como se puede apreciar en el cuadro 6.

**Cuadro 6:** Composición promedio de aminoácidos (g/16 g de N) de diversas harinas de pescado, determinada mediante cromatografía de intercambio iónico.

	Harina de Arenque	Harina de Anchoveta	H. de vísceras de atunes y especies mezcladas	Harina de Sardina y Caballa	Harina pescado blanco
<b>Lisina</b>	7,73	7,75	7,30	7,94	6,90
<b>Metionina</b>	2,86	2,95	2,75	2,71	2,60
<b>Triptófano</b>	1,15	1,20	1,05	1,02	0,94
<b>Histidina</b>	2,41	2,43	3,41	3,02	2,01
<b>Arginina</b>	5,84	5,82	6,43	5,95	6,37
<b>Treonina</b>	4,26	4,31	4,34	4,38	3,85
<b>Valina</b>	5,41	5,29	5,31	5,41	4,47
<b>Isoleucina</b>	4,49	4,68	4,16	4,48	3,70
<b>Leucina</b>	7,50	7,62	7,20	7,30	6,48
<b>Fenilalanina</b>	3,91	4,21	4,10	3,91	3,29
<b>Cistina</b>	0,97	0,94	0,79	0,95	0,93
<b>Tirosina</b>	3,13	3,40	3,28	3,23	2,60
<b>Ac. aspártico</b>	9,10	9,49	9,30	9,37	8,54
<b>Serina</b>	3,82	3,84	4,18	4,27	4,75
<b>Ac. Glutámico</b>	12,77	12,96	11,93	12,92	12,79
<b>Prolina</b>	4,15	4,17	5,43	4,52	5,34
<b>Glicina</b>	5,97	5,62	8,15	6,92	9,92
<b>Alanina</b>	6,25	6,31	6,76	6,17	6,31
<b>Lis/Met *</b>	16,9 / 6,3	16,7 / 6,4	15,7 / 5,9	17,2 / 5,9	17,0 / 6,4
<b>P. Bruta (%)</b>	73,6	65,4	53,24	65,4	65,01
<b>Humedad (%)</b>	6,93	8,01	6,20	9,00	8,49

(\*) Calculada como porcentaje del total de aminoácidos esenciales.

Fuente: Extraído de FAO, Aminoácidos asimilados de las harinas de pescado, (1971).

Investigaciones realizadas en la década del sesenta y mencionadas en la revisión de Santos et al. (1998), mostraron que el rumen, a través de la proteína microbiana, fue capaz de suministrar toda la proteína requerida por vacas produciendo 4.500 kg de leche por lactancia. Sin embargo, para vacas de alta producción, que superan los 9.000 kg de leche por lactancia (rendimientos comunes en EEUU en los últimos 30 años) la proteína microbiana, suministra una proporción cada vez menor de los requerimientos y cantidades crecientes de proteína de la dieta deben escapar a la degradación ruminal para satisfacerlos. En este sentido, la harina de pescado aparece como una fuente proteica de

elevado sobrepaso ruminal y excelentes características en cuanto a su perfil de aminoácidos, principalmente los más limitantes para la producción de leche (Chalupa y Sniffen, 1996).

Tamminga (1982) citado por Hussein y Jordan (1991) consideró que el perfil de aminoácidos de la harina de pescado es similar al requerido para el crecimiento bovino y la producción de leche.

Comparando los perfiles de aminoácidos esenciales (AAE), de la leche y de la harina de pescado (entre otros suplementos proteicos), Chandler (1989) citado por Santos et al. (1998) encontró los resultados que se detalla en el cuadro 7.

**Cuadro 7:** Proporción relativa de aminoácidos esenciales de la harina de pescado en relación a los de la leche. \*

	Lis	Met	His	Fen	Leu	Tre	Arg	Val	Iso	Trip
Harina de pescado	80	100	77	69	58	68	59	59	47	71

(\*) Calculado como: (% de AAE en la proteína del alimento/% de AAE en la proteína de la leche) x 100.

Fuente: Chandler (1989) adaptado por Santos et al. (1998).

En el cuadro 7 se observa que existe una equivalencia en cuanto a las proporciones de los aminoácidos esenciales que componen la proteína de la harina de pescado y de la leche, principalmente lisina y metionina; sin embargo, no ocurre lo mismo para isoleucina, leucina, valina y arginina, siendo éstos últimos, los más limitantes para la harina de pescado al considerar la formulación de una dieta.

Respecto a la relación entre aminoácidos esenciales y no esenciales (AAE/AAE) en la dieta, Palmquist et al. (1978) citados por Maiga y Schingoethe (1997), mencionan que relaciones inferiores a 0,6 indicarían dietas con deficiencias en el valor biológico de la proteína. La harina de pescado presenta una relación AAE/AAE, próxima a 0,8 por lo que la utilización de la misma en una ración, tendería a incrementar dicho indicador en la dieta.

En una investigación realizada por O'Mara et al. (1997) en la cual se estudió, entre otros aspectos, la variación en la composición de aminoácidos antes y después de una incubación ruminal; se observó que el perfil de aminoácidos sufrió cambios para todos los alimentos y que los mismos fueron mayores para los alimentos más degradables. Esto confirma, lo reportado previamente por Crooker et al. (1986); Crooker et al. (1987); Erasmus et al. (1994); Cozzi et al. (1995) citados por O'Mara et al. (1997), en cuanto a que el perfil de aminoácidos de los alimentos no puede ser utilizado para predecir el perfil de los residuos no degradables.

En el estudio antes mencionado, también se señala que la degradabilidad individual de los aminoácidos en el rumen depende del alimento, pero fue posible determinar algunos patrones.

La lisina apareció como uno de los aminoácidos esenciales más degradables; este aminoácido decreció o tendió a decrecer, como proporción del total, después de una incubación ruminal, en todos los alimentos utilizados excepto en la harina de pescado, confirmando los resultados de Erasmus et al. (1994).

La metionina fue reportada por Tamminga (1979) como uno de los aminoácidos más resistente a la degradación ruminal; el contenido del mismo se incrementó o tendió a incrementarse, como proporción del total de aminoácidos, después de una incubación ruminal, para todos los alimentos del estudio.

La fenilalanina mostró el mismo comportamiento, ratificando lo informado previamente por Erasmus et al. (1994), aunque estos investigadores citan como excepción a la harina de soja.

La isoleucina y la leucina fueron en términos relativos, más resistentes que el promedio de los aminoácidos a la degradación ruminal, confirmando los reportes de Susmel et al. (1989) y Erasmus et al. (1994).

Por el contrario, la arginina y el ácido glutámico mostraron un comportamiento opuesto, siendo de los aminoácidos más relativamente degradables, registrando proporciones inferiores a las originales en los residuos luego de una incubación ruminal. Sin embargo, para la arginina muchos de los descensos fueron de escasa magnitud y no significativos.

La harina de pescado, por su elevado escape al ataque microbiano mostró cambios de pequeña magnitud en su perfil de aminoácidos, excepto para la glicina, siendo el suplemento que tuvo las mayores concentraciones de lisina y metionina en sus residuos después de la incubación ruminal (O'Mara et al., 1997). En esta investigación se determinó el porcentaje de desaparición de los aminoácidos en el rumen, para dos tipos de harina de pescado, después de una incubación de 12 horas, mostrando los resultados presentados en el cuadro 8.

O'Mara et al. (1997), mencionan que el perfil de aminoácidos del alimento no puede ser utilizado como estimador del perfil resultante de una incubación ruminal y por ende tampoco, del perfil de aminoácidos absorbidos en intestino delgado. Sin embargo, concluyen que la composición residual de aminoácidos de la incubación ruminal sería un buen estimador del perfil que desaparece en intestino, lo que concuerda con los resultados de Erasmus et al. (1994) citados por los mismos autores. Esto se explicaría porque para la mayoría de los alimentos evaluados, aproximadamente el 95% o más de

los aminoácidos que ingresan al duodeno, desaparecen durante el pasaje intestinal (O'Mara et al., 1997).

**Cuadro 8:** Desaparición (%) de AA totales y de los cuatro AA más limitantes para la producción de leche, después de 12 hs. de incubación ruminal.

	AA Totales	Lisina	Metionina	Histidina	Fenilalanina
<b>H. pescado A<sup>1</sup></b>	31.0	28.8	22.5	23.1	23.4
<b>H. pescado B<sup>2</sup></b>	29.5	28.7	21.4	32.6	25.6

(1) H. de pescado: 79% PC, 9.7 % EE y 10.9% C.

(2) H. de pescado: 68.6% PC, 12.2% EE y 14.6% C.

Fuente: Extraído de O'Mara et al. (1997).

Schwab (1994) citado por Santos et al. (1998), puntualizó la importancia de la cantidad y el balance de aminoácidos esenciales que llegan al duodeno, asignando un carácter fundamental a los porcentajes de lisina y metionina en relación a la cantidad total de aminoácidos esenciales. Hay evidencias de que lisina y metionina son los dos primeros aminoácidos que limitan la producción de leche y la síntesis de proteína en la mayoría de las dietas lecheras (Schwab et al., 1976; Casper y Schingoehde, 1989; Fraser et al., 1991; Munneke et al. 1991; Rulquin et al., 1993, citados por O'Mara et al., 1997 y King et al., 1990; Schwab 1992 citados por Santos et al., 1998); y la histidina y fenilalanina han sido frecuentemente citados como los siguientes aminoácidos limitantes (Yang et al., 1986; Seymour et al., 1990 citados por O'Mara et al. 1997). Con frecuencia, lisina, metionina, fenilalanina, histidina y treonina, son citados como los cinco aminoácidos más limitantes para la glándula mamaria (Clark, 1975).

En la revisión llevada adelante por Santos et al. (1998) se concluye que, de todos los suplementos proteicos ricos en proteína by pass (RUP) utilizados frecuentemente para la alimentación animal, únicamente la harina de pescado presenta un buen balance de lisina y metionina; semejante al citado por Schwab et al. (1992), Schwab (1994) y Rulquin y Verité (1993) citados por Santos et al. (1998), como ideal para maximizar la producción de leche y la síntesis de proteína. La cantidad de lisina y metionina como porcentaje del total de aminoácidos esenciales en duodeno debería ser de 15 y 5% respectivamente, proporciones encontradas en la harina de pescado, como se evidencia en el cuadro 6.

La digestibilidad intestinal de los aminoácidos de sobre paso, es un factor determinante del valor de la proteína by pass (O'Mara et al., 1997). En la investigación de estos autores, los ejemplos de harina de pescado presentaron valores elevados de absorción intestinal de aminoácidos totales y de los cuatro aminoácidos más limitantes, como se puede observar en el cuadro 9. Esta elevada absorción podría estar explicada,

entre otros factores, por un mayor flujo de aminoácidos al intestino. Santos et al. (1998) en su revisión, mencionan incrementos en los flujos de lisina y metionina en los casos en que se suplementó con harina de pescado.

**Cuadro 9:** Desaparición intestinal (%) de AA totales y de los cuatro AA más limitantes para la producción de leche.

	AA Totales	Lisina	Metionina	Histidina	Fenilalanina
<b>H. pescado A<sup>1</sup></b>	97.2	97.9	97.3	97.7	96.9
<b>H. pescado B<sup>2</sup></b>	96.0	98.2	95.2	97.1	96.7

(1) H. de pescado: 79% PC, 9.7% EE y 10.9% C.

(2) H. de pescado: 68.6% PC, 12.2 % EE y 14.6% C.

Fuente: Extraído de O'Mara et al. (1997).

#### 2.2.1.2. Grasa

El contenido de grasa de la harina de pescado oscila, entre 3,4% y 16,4%, con un promedio de 9,7% (FEDNA, 1997), como puede observarse en el cuadro 5. Esta variación estaría explicada, por los diferentes niveles de extracción de aceite durante el proceso de elaboración, más que por los cambios en el contenido de grasa de la materia prima (Barlow y Windsor, 1984).

Si bien la grasa constituye un ingrediente importante de los alimentos desde el punto de vista energético, los niveles de la misma en la harina de pescado presentan restricciones. Según Barlow y Windsor (1984), las razones para esto radican en el hecho de que en los comienzos de la fabricación, cuando aún no se utilizaban antioxidantes, era relativamente frecuente el sobrecalentamiento y riesgo de combustión de la harina, como consecuencia del calor generado por la oxidación de los aceites, proceso facilitado por la elevada superficie de exposición del producto. Este sobrecalentamiento además, afectaba negativamente la calidad de la proteína. En virtud de que se observaba, que las harinas de pescado con menor contenido de grasa solían ser más estables, se determinaron restricciones para esta fracción. Otro factor limitante, en cuanto al contenido de grasa en la harina, se debe a que niveles excesivos de grasa de pescado en la dieta de los animales, daba lugar al desarrollo de aromas a pescado en los productos (carne, leche y huevos).

La fracción grasa de la harina de pescado se determina mediante su extracción con solventes orgánicos como el éter dietílico y el hexano; con esta técnica se extraen del alimento todos los compuestos solubles en estas sustancias y aunque la mayor parte del extracto etéreo la conforman los triglicéridos, en los alimentos existen cantidades

variables de otras sustancias solubles tales como, vitaminas liposolubles, carotenos, ceras, resinas, esteroides, entre otros, algunos de los cuales carecen de valor nutritivo (ceras y resinas) y otros de valor energético (vitaminas liposolubles). En la harina de pescado el 80% del extracto etéreo es grasa verdadera (FEDNA, 1997).

La grasa de la harina de pescado se caracteriza por presentar una elevada proporción de ácidos grasos de cadena larga (mayor a 20 átomos de carbono) y un elevado grado de insaturación (Sparre, 1965; Barlow y Windsor, 1984), pudiendo presentar hasta seis dobles enlaces en su cadena carbonada (FAO, 1975; Ludorff y Meyer, 1978). Estos triglicéridos son de composición más compleja que la de los animales terrestres, destacándose especialmente los ácidos grasos esenciales<sup>3</sup> de cadena larga (mayor a 18 carbonos) de la serie n-3 (omega-3), que suponen aproximadamente un tercio de la grasa total (FEDNA, 1997).

En el cuadro 10, se presenta el perfil de ácidos grasos de la harina de pescado, donde se observa que predominan los ácidos grasos de 16, 18 y de 20 y más átomos de carbono, siendo éstos últimos los que se encuentran en mayor proporción (47,1% de la grasa verdadera). El contenido de ácido linolénico (C<sub>18:3</sub>) es en general escaso (Ludorff y Meyer, 1978) o nulo (FEDNA, 1997). Entre los ácidos grasos saturados prevalece el palmítico (C<sub>16:0</sub>) con un rango del 13 al 19% del total, en tanto el mirístico (C<sub>14:0</sub>) y el esteárico (C<sub>18:0</sub>) se presentan en un rango de 4 al 8% y 3 al 5%, respectivamente, siendo algo menor el valor registrado por la FEDNA para éste último (2,6%).

**Cuadro 10:** Perfil de ácidos grasos de la harina de pescado, expresados como porcentaje de la grasa verdadera y como porcentaje del alimento.

	C <sub>14:0</sub>	C <sub>16:0</sub>	C <sub>16:1</sub>	C <sub>18:0</sub>	C <sub>18:1</sub>	C <sub>18:2</sub>	C <sub>18:3</sub>	C <sub>≥20</sub>
<b>% Grasa verd.</b>	5.0	15.4	6.9	2.6	14.7	1.0	0.0	47.1
<b>% Alimento</b>	0.38	1.36	0.52	0.20	1.10	0.1	0.0	3.54

Fuente: FEDNA (1997).

Según Sparre (1965) la grasa de la harina de pescado presenta la misma naturaleza altamente insaturada que el aceite extraído durante el procesamiento. Sin embargo, en la harina de pescado, pueden encontrarse mayores valores de ácidos grasos libres, lecitina y colesterol.

---

<sup>3</sup> Acido graso esencial es aquel que el animal no es capaz de sintetizar o que no es capaz de producir en las cantidades y/o en las velocidades necesarias para satisfacer los requerimientos de las funciones de mantenimiento y de producción.

Estudios sobre aceites de pescado, realizados a nivel nacional por la Facultad de Química mostraron que los ácidos grasos palmítico ( $C_{16:0}$ ) y oleico ( $C_{18:1}$ ), aparecen en cantidades considerables en prácticamente todos los aceites de pescado, representando entre ambos cerca del 35% del total de ácidos grasos (valores similares a los registrados por la FEDNA para la grasa de la harina de pescado). Otros ácidos grasos son frecuentes pero no siempre se encuentran en cantidades importantes, entre estos: tres monoeno ( $C_{16:1}$ ,  $C_{20:1}$ ,  $C_{22:1}$ ), un saturado ( $C_{14:0}$ ) y dos polienu ( $C_{20:5}$ ,  $C_{22:6}$ ). Estos dos últimos son característicos de los aceites de pescado y generalmente no aparecen en otros aceites más que a nivel de trazas (Grompone, 1992). Al ácido  $C_{20:5}$ , se lo conoce con la sigla EPA (del inglés “eicosapentaenoic acid”) y al  $C_{22:6}$  como DHA (del inglés “docosahexaenoic acid”).

Una particularidad de los aceites de pescado de origen nacional, es que presentan una composición intermedia respecto a los dos grandes grupos establecidos para los peces de agua salada: los ricos en monoeno de cadena larga (como el arenque) y los ricos en poliinsaturados (como el menhaden). Además, también se caracterizan por ser más ricos en DHA que en EPA, lo cual no es frecuente en aceites marinos de otros países (Grompone, 1992). El contenido de EPA no presenta variaciones importantes entre especies, no siendo así para el DHA el cual es mínimo en la corvina y máximo en la merluza (Grompone, 1992); siendo éste último el principal recurso pesquero uruguayo y fuente de materia prima para la elaboración de harina de pescado, como ya fuera mencionado.

Los ácidos grasos insaturados se suelen agrupar en familias, de acuerdo con la ubicación de sus dobles enlaces en la cadena carbonada. En determinadas circunstancias, se numeran los átomos de carbono a partir del grupo metilo terminal y no como en la nomenclatura IUPAC (respecto al grupo carboxilo), formando así familias “omega”. En la familia “omega-3”, todos sus miembros poseen el primer doble enlace en la posición 3, respecto al metilo terminal; de la misma forma, en la familia “omega-6”, el primer doble enlace aparece en la posición 6.

Los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) que integran la familia omega-3 son el ácido  $\alpha$ -linolénico ( $C_{18:3}$ ) y sus metabolitos EPA ( $C_{20:5}$ ) y DHA ( $C_{22:6}$ ); en tanto los integrantes de la familia omega-6 son, el ácido linoléico ( $C_{18:2}$ ) y sus metabolitos ácido  $\gamma$ -linolénico ( $C_{18:3}$ ), ácido araquidónico ( $C_{20:4}$ ) y ácido docosapentaenoico ( $C_{22:5}$ ).

Tanto los animales como los humanos no pueden sintetizar los PUFA antes mencionados a partir de fuentes básicas de carbono, siendo necesario suministrarlos a través de la dieta. En el cuadro 11 puede apreciarse la elevada proporción de ácidos grasos de la familia omega (principalmente omega-3) en las harinas de pescado, lo cual supone una ventaja desde el punto de vista nutritivo, frente a otras fuentes de alimento. Hay evidencias de que la inclusión de lípidos de origen marino, ricos en omega-3

(fundamentalmente como DHA y EPA), en la dieta mejoraría la salud animal, debido a un mejor balance omega-6/omega-3, aspecto que será desarrollado más adelante en esta revisión. Tanto el aceite como la harina de pescado, son fuentes ricas en dichos ácidos grasos.

**Cuadro 11:** Composición en ácidos grasos de la familia omega en los lípidos de aceites, grasas y harinas proteicas.

	g / 100 g de ácidos grasos			Relación
	$\omega$ -3	$\omega$ -6	$\omega$ -6 + $\omega$ -3	$\omega$ -6 / $\omega$ -3
<b>Harina de pescado blanco</b>	35.5	3.4	38.9	0.10
<b>Harina de Arenque</b>	27.1	2.4	29.5	0.09
<b>Harina de Anchoa</b>	34.3	4.1	38.4	0.12
<b>Pastura fresca</b>	74.8	8.4	83.2	0.11
<b>Soja</b>	7.1	54.4	61.5	7.67
<b>Maíz</b>	0.9	50.4	51.3	56.0
<b>Colza</b>	10.0	29.5	39.5	2.95
<b>Algodón</b>	0.0	27.5	27.5	>100
<b>Girasol</b>	0.1	65.0	65.1	>100

Fuente: Adaptado de Pike (1999).

La mayoría de las fuentes lipídicas de origen vegetal, a excepción de las pasturas frescas, presentan bajos contenidos en omega-3, encontrándose principalmente en la forma de ácido linolénico, el cual sería menos beneficioso que el EPA y DHA (Pike, 1999).

Si bien la elevada proporción de ácidos grasos poliinsaturados sería deseable desde el punto de vista nutritivo, la facilidad con que éstos se oxidan determinan dificultades en la conservación del producto, así como reducciones en los niveles aportados. Investigaciones recientes han sugerido que el consumo de aceites de pescado no estabilizados podrían significar la ingestión de compuestos potencialmente tóxicos, producidos durante la oxidación de los PUFA principalmente los de la serie omega-3 (Shukla, 1991 citado por Rodríguez et. al., 1993). Se ha demostrado que la adición de antioxidantes retrasa considerablemente el ritmo de oxidación, evitando los inconvenientes antes citados; sin embargo, la estabilización de la grasa, podría agravar el desarrollo de aromas anormales en los productos, debido a un acúmulo de grasa altamente reactiva (FAO, 1975; Barlow y Windsor, 1984).

### 2.2.1.3. Minerales y Vitaminas

Estas fracciones representan un valor nutritivo adicional de la harina de pescado, que es preciso considerar al formular una dieta en virtud de la importancia de las mismas

para optimizar la performance animal. La harina de pescado presenta un contenido total de minerales elevado, con un valor promedio de 16,9% de la materia seca (FEDNA, 1997). El mismo presenta grandes variaciones, entre harinas de pescado de diferentes orígenes, la FEDNA (1997) cita un coeficiente de variación de 20,5%. Como ya fuera mencionado, las harinas de pescado elaboradas a partir de residuos de las plantas de fileteado, presentan contenidos elevados de minerales y bajos en proteínas (Johnson y Savage, 1987 citados por Hussein y Jordan, 1991), dependiendo de la relación, carne/material óseo.

En el cuadro 12 se presentan los valores promedio de composición para macro y microminerales contenidos en la harina de pescado.

**Cuadro 12:** Composición promedio de macro y microminerales en la harina de pescado.

Macrominerales (% de la HP)								Microminerales (ppm)					
Ca	P	P disp	Na	Cl	Mg	K	S	Cu	Fe	Zn*	Mn*	I*	Se*
3.8	2.5	2.3	0.84	1.5	0.2	0.85	0.5	8	400	100	10	-	1.5

(\*) Barlow y Windsor (1984).

Fuente: FEDNA (1997).

Dentro de los macrominerales se destacan principalmente el calcio y el fósforo, con valores superiores al de muchos alimentos frecuentemente utilizados. Especialmente la harina de pescado, se caracteriza por su elevado aporte de fósforo altamente disponible, fracción que representa cerca del 90% del contenido total (FEDNA, 1997). En el cuadro 13, se presentan los resultados de análisis de los contenidos de calcio y fósforo realizados sobre 224 y 249 muestras de harina de pescado, respectivamente.

**Cuadro 13:** Contenido de calcio y fósforo de la harina de pescado.

	Nº de muestras	Promedio (%)	Mín. (%)	Máx. (%)	C.V. (%)
<b>Calcio</b>	224	3.8	0.5	7.7	41.1
<b>Fósforo</b>	249	2.5	1.0	4.0	22.1

C.V.: coeficiente de variación.

Fuente: Adaptado de FEDNA (1997).

Los demás macrominerales, Na, Cl, Mg, K y S, también se encuentran en elevadas cantidades.

Independientemente de las cantidades totales de minerales, un aspecto muy importante desde el punto de vista nutricional es la interacción de los macrominerales entre sí y entre macro y microminerales (Church y Pond, 1996). Una relación dietaria de Ca:P mayor de 2 o menor de 0.5, produce resultados adversos en algunos animales (Church y Pond, 1996) La relación Ca:P en la harina de pescado es en promedio de 1.7, valores próximos a los citados como óptimos.

La harina de pescado es una buena fuente de todos los microminerales; destacándose el aporte de selenio (Barlow y Windsor, 1984).

Hay evidencias que las diferentes vitaminas presentes en el pescado son alteradas en distintos grados, desde leves reducciones hasta pérdidas completas (Burt, 1988). Por esto su contenido en la harina de pescado es dependiente del procesamiento. Las vitaminas liposolubles son generalmente más estables que las hidrosolubles, pero son propensas a sufrir degradaciones a altas temperaturas en presencia de oxígeno, quizás a través del mecanismo de los radicales libres (Priestley, 1979 citado por Burt, 1988). Este autor reportó, que la vitamina A es completamente estable durante el procesamiento de alimentos, sin embargo, como resultado de su carácter insaturado, es susceptible a oxidaciones cuando el tratamiento térmico se efectúa en presencia de oxígeno o cuando se expone a la luz ultravioleta (Mejika, 1960; Bransnaes, 1962; Priestley, 1979 citados por Burt, 1988). En cuanto a la vitamina D, Priestley (1979) señala que es vulnerable a la oxidación pero es generalmente más estable que la vitamina A al calor, luz ultravioleta y oxígeno. Aitken y Connell (1979) resumiendo todos los datos disponibles, llegaron a la conclusión que el contenido de vitamina D sólo se reduce levemente durante la cocción. La vitamina E es completamente resistente al calor (Bunnell et al., 1965 y Priestley, 1979 citados por Burt, 1988), pero es altamente susceptible a la oxidación en presencia de oxígeno y catalizadores a altas temperaturas (Priestley, 1979 citado por Burt, 1988). Respecto a las vitaminas hidrosolubles, la principal vía de pérdida es a través del agua de procesamiento (Priestley, 1979 citado por Burt, 1988), sin embargo éstas son recuperadas, en la harina de pescado, a través de la incorporación del agua de cola concentrada. Dentro del complejo de vitaminas B, la Tiamina (B<sub>1</sub>) es la más sensible a la degradación térmica y los factores más importantes que determinan su pérdida son la temperatura, la duración del tratamiento y el pH (Burt, 1988). La Riboflavina (B<sub>2</sub>) es estable al calor a pH ácido, siendo rápidamente destruida en condiciones alcalinas (Burt, 1988). Según éste autor, el ácido pantoténico (B<sub>3</sub>) presenta buena estabilidad térmica a pH neutro, sin embargo, Mason y Weidner (1964) citados por Burt (1988), indican que las harinas de pescado excesivamente calentadas presentan un contenido reducido de esta vitamina. La Piridoxina (B<sub>6</sub>) es estable al calor, aunque los datos de investigación son limitados e inconsistentes (Burt, 1988). Según Lassen (1965), la vitamina B<sub>12</sub> no experimenta reducciones durante la cocción y el deshidratado normal en el proceso de fabricación de la harina de pescado. Los contenidos de Niacina y Biotina no son apreciablemente afectados por el calor (Burt, 1988) y las mayores reducciones se producen durante la cocción a través de su lixiviación con el agua

extraída (Aitken y Connell, (1979) y Priestley (1979) citados por Burt, 1988). El contenido de ácido fólico esta afectado por la temperatura y por pérdidas con el agua de cocción (Burt, 1988).

En consecuencia, la harina de pescado aporta elevadas cantidades de vitaminas del complejo B, especialmente colina, biotina, riboflavina y vitamina B<sub>12</sub> (FEDNA, 1997). El contenido de las vitaminas liposolubles en la harina se ve reducido como consecuencia de la extracción conjunta con el aceite (Sparre, 1965; FAO, 1975).

A continuación en el cuadro 14 se presenta el contenido de algunas vitaminas en la harina de pescado.

**Cuadro 14:** Contenido de algunas vitaminas en la harina de pescado, expresado en ppm.

Vit. E *	Ac. Pantote.	Riboflav.	Niacina	Ac. Fólico	Colina	Vit. B <sub>12</sub>	Biotina
9.0	15	6.5	50	0.5	4400	0.07	0.08

(\*) FEDNA (1997).

Fuente: Barlow y Windsor (1984).

### 2.2.2. Calidad

Los parámetros de evaluación de calidad de un producto son diversos y no pueden ser separados de los objetivos que se pretenden alcanzar con su utilización. A pesar de esto resulta necesario realizar una tipificación del producto en cuanto a ciertos parámetros básicos, a fin de regular la comercialización. Los mismos incluyen niveles de proteína, grasa, humedad y cenizas, pudiendo detallarse además otras especificaciones dependiendo de las exigencias del mercado.

La evaluación de la calidad de la harina de pescado se realiza mediante métodos de análisis estandarizados que incluyen técnicas físicas, químicas, microbiológicas, biológicas y organolépticas.

La harina se evalúa desde el punto de vista físico tomando en cuenta dos aspectos, el tamaño de partícula y el color. En cuanto al primero, es conveniente que presente uniformidad, evitando grandes cantidades de partículas muy pequeñas las cuales dificultan el manejo y utilización. La FAO (1975) menciona que las harinas deben contener menos de un 10% de partículas que pasen a través de un tamiz de 1 mm y más de un 90% de las mismas deben atravesar un tamiz de 10 mm, asimismo agrega, que una harina de pescado de buena calidad debe presentar un tamaño de partícula tal que el 100% de las mismas pasen a través de un tamiz Tyler N° 8. Barlow y Windsor

(1984), mencionan que la mayor parte de los clientes exigen un tamaño de partícula entre 2 y 0,1 mm. El color característico de la harina de pescado es el marrón y su intensidad es dependiente de diversos factores, entre otros, del procesamiento, la especie de pescado, el tamaño de partícula, el contenido de grasa y humedad. Es preferible un color ligeramente claro (FAO, 1975), a pesar de que el color y la calidad no están correlacionados, a menos que un color marrón oscuro este causado por un sobrecalentamiento durante el procesamiento y/o almacenamiento (Barlow y Windsor, 1983 citados por Husein y Jordan, 1991). En estos casos, el color oscuro va acompañado de un olor “tostado irritante”.

Además de los parámetros de composición química mencionados, existen otras evaluaciones que permiten definir aún más la calidad de la harina de pescado. Entre estos, se encuentra el índice de peróxidos, el contenido de ácidos grasos libres, digestibilidad por la pepsina y contenido en lisina disponible (Barlow y Windsor, 1984), además el contenido de TVN (Kjeldsen et al. 1983 citados por Hussein y Jordan, 1991) y acidez (Bertullo, 2003<sup>4</sup>). El índice de peróxido es una medida del grado de oxidación de las grasas, expresado como meq. O<sub>2</sub>/kg. Bertullo (2003)<sup>4</sup>, menciona un valor máximo en la harina de pescado de 20 meq. O<sub>2</sub>/kg para este parámetro. Según investigaciones citadas por Barlow y Windsor (1984), el contenido de ácidos grasos libres en la harina de pescado no afecta la calidad de la misma como alimento, siendo sólo un indicador de la frescura de la materia prima utilizada. Kjeldsen et al. (1983) citados por Hussein y Jordan (1991) sugirieron que el contenido de TVN en la harina de pescado, es un indicador de su calidad para la alimentación de cerdos. Sus resultados indicaron que con bajos contenidos (aproximadamente 1,3% del total de nitrógeno de la harina) se obtenía la mayor tasa de crecimiento y eficiencia de la alimentación. Cabe resaltar, que esto no sería extrapolable a rumiantes puesto que las bacterias del rumen pueden utilizar compuestos de nitrógeno no proteico para sintetizar proteína bacteriana. En cuanto a la acidez, Bertullo (2003)<sup>4</sup>, cita un valor máximo de 5% expresado en ácido oleico.

En referencia a la calidad microbiológica debe hacerse hincapié en la prevención de la contaminación por Salmonella, debido a los importantes perjuicios en la producción y salud animal que implica el consumo de harinas contaminadas con dicha bacteria. A este respecto, debería exigirse el análisis microbiológico que certifique la ausencia de contaminación.

La valoración biológica y organoléptica de la harina de pescado, resulta de la investigación realizada sobre los efectos en los parámetros productivos y características organolépticas de los productos obtenidos, siendo ésta otra de las formas de evaluar la calidad de la harina de pescado como alimento.

---

<sup>4</sup> Bertullo, Enrique. 2003. Notas del curso: Tecnología de los productos de la pesca. (Comunicación Personal)

### 2.2.3. Utilización en la alimentación animal

Se ha reportado la utilización de la harina de pescado en la alimentación animal desde fines del siglo XIX. Dana en 1894 probó la harina de pescado como un aditivo para alimentar cerdos (Creac'h, 1950 citado por AEC, 1973). A partir de investigaciones realizadas en Europa sobre las virtudes de la harina de pescado como alimento, fue que se generalizó su utilización por todo el viejo continente, volviéndose práctica corriente en Estados Unidos después de la primera guerra mundial (Woodman, 1937 citado por March, 1962).

Como ya fuera mencionado, la harina de pescado es utilizada principalmente para la alimentación de monogástricos (aves de corral y cerdos) donde la calidad de la proteína tiene una importancia considerable (Sparre, 1965). Debido a las características de la proteína aportada por la harina de pescado y principalmente por su contenido de aminoácidos esenciales altamente digestibles, este alimento se ha convertido en un ingrediente frecuentemente utilizado en las dietas de estos animales. Investigaciones llevadas a cabo por Laksessvela (1954) citado por Sparre (1965), evidenciaron un incremento de peso vivo en pollos alimentados con harina de arenque cercano al 11%, comparado con el control recibiendo sólo proteína vegetal; efectos similares fueron encontrados en cerdos. El desarrollo de aromas a pescado, en la carne y huevos, así como problemas de palatabilidad en la dieta (Mäntysaari et al., 1989), se mencionan frecuentemente como los principales inconvenientes del suministro de este alimento en cantidades excesivas. En la práctica, los niveles que se incluyen en la dieta no suponen mayores problemas (Barlow y Windsor, 1984). A este respecto, la cátedra de Nutrición de la Facultad de Agronomía (1987), cita como límite máximo de inclusión para cerdos un 5% de la materia seca de la dieta y 4 a 5% para aves. Oldham et al. (1985) citados por Mäntysaari et al. (1989) reportaron que las vacas restringieron el consumo de materia seca cuando la harina de pescado se incluyó en una proporción del 8% de la dieta, pero no cuando este alimento fue suministrado en proporciones de 5%. Datos que concuerdan con los encontrados por Blauwiel et al. (1990) y Carroll et al. (1994) citados por Chiou et al. (1997).

Los rumiantes, debido a su capacidad de proveerse de proteína de excelente calidad, sintetizada por los microorganismos del rumen, son menos dependientes de la calidad proteica de la dieta que los monogástricos (Sparre, 1965). Sin embargo, para maximizar la producción, requieren de un suministro adicional de aminoácidos (March, 1962; Sparre, 1965; Virtanen, 1966 citados por Santos et al., 1998; ARC 1980 citado por Hadjipanayiotou, 1996; NRC, 1989; Hussein y Jordan, 1991; Chalupa y Snifen, 1996).

En este sentido, cantidades crecientes de proteína de la dieta deben escapar a la degradación ruminal para satisfacerlos. A pesar de esto, los datos de la investigación sugieren que incrementos de la proteína no degradable en rumen (RUP) per se en la dieta de vacas lecheras, no mejoraron de forma consistente la performance lactacional (Santos

et al., 1998); las posibles razones que explicarían esta falta de respuesta serían: a) descensos en la síntesis de proteína microbiana en el rumen (Schingoethe, 1991; Clark et al., 1992; Schwab, 1994 citados por Santos et al., 1998), b) la fuente de RUP tenía un pobre perfil en aminoácidos esenciales (Chandler, 1991; Schingoethe, 1991; Schwab, 1994 citados por Santos et al., 1998), c) la fuente de RUP tenía baja digestibilidad en intestino delgado (Schingoethe, 1991; Schwab, 1994 citados por Santos et al., 1998) y d) las dietas utilizadas como control presentaban cantidades suficientemente altas en RUP (NRC, 1985; NRC, 1989 citados por Santos et al., 1998). Algunos estudios (Schingoethe, 1991; Clark et al., 1992; Huber et al., 1992; Polan, 1992; Chen et al., 1993; Schwab, 1994 citados por Santos et al., 1998) han sugerido que para que la suplementación con RUP resulte en una mejor performance, la fuente utilizada debería tener un perfil de aminoácidos que pueda complementar el de la proteína microbiana. De este modo sería ilógico incrementar la RUP a expensas de la proteína degradable en rumen (RDP) a menos que ésta última se encuentre en cantidades excesivas (Santos et al., 1998).

Tanto el ARC (1984) como el NRC (1989), introdujeron sistemas para la formulación de dietas basados en la degradación ruminal de las fuentes de proteína. El porcentaje de RUP para dietas de vacas lecheras de alta producción, sugerido por el NRC (1989) está dentro del rango 6.2 a 7.0% de la materia seca de la dieta (Cunningham et al. 1996); sin embargo, estas cantidades serían un 30% más bajas según las recomendaciones del ARC (1984) (Khorasani et al., 1996). Según Robinson y Kennelly (1988) citados por Khorasani et al. (1996), las recomendaciones del NRC podrían sobrestimar los requerimientos de RUP para vacas en lactancia tardía. Los resultados de Khorasani et al. (1996), trabajando con vacas en lactación temprana y rindiendo más de 25 kg/día de leche, indicaron que las recomendaciones del ARC subestimaron los requerimientos de RUP para estas vacas.

Como fuera mencionado, los dos primeros aminoácidos que limitan la producción de leche y la síntesis de proteína son lisina y metionina en ese orden; a éstos le siguen histidina, fenilalanina y treonina, completando así, los cinco aminoácidos principales para la glándula mamaria (Clark, 1975). En los cuadros 15 y 16 se presentan datos que permiten caracterizar desde el punto de vista de los aminoácidos esenciales distintas fuentes ricas en RUP.

Como forma de caracterizar las diferentes fuentes proteicas, Chandler (1989), formuló un índice de aminoácidos esenciales tomando en cuenta un factor de utilización para cada aminoácido, los que se detallan a continuación en el cuadro 15. Además, señala los tres aminoácidos esenciales más limitantes para cada alimento con relación a los aminoácidos esenciales de la proteína de la leche.

**Cuadro 15:** Índice de aminoácidos esenciales y aminoácidos limitantes de los alimentos estimados en comparación con la proteína de la leche.

Fuente proteica	Índice de AAE <sup>1</sup>	AAE limitantes <sup>2</sup>		
Microorganismos	82	Leu (54)	Iso (61)	Val (66)
H. de soja	71	Iso (55)	Leu (56)	Met (56)
H. de pescado	68	Iso (47)	Leu (58)	Val (59)
Granos cervecería	67	Lis (34)	Arg (53)	His (56)
H. alfalfa deshid.	65	Lis (46)	Arg (50)	Iso (51)
H. de sangre	60	Iso (10)	Arg (33)	Met (45)
Granos dest. c/sol.	54	Lis (24)	Iso (38)	Arg (42)
H. de carne	53	Iso (36)	Trip (39)	Leu (46)
Gluten meal	52	Lis (18)	Trip (30)	Arg (36)
H. carne y hueso	51	Trip (32)	Iso (36)	Leu (46)
H. de plumas	34	His (11)	Lis (13)	Met (23)

(1) Calculado como  $[(\log \text{ de AAE de la proteína del alimento})/(\log \text{ de AAE de la proteína de la leche})] \times 100$

(2) Listados en orden de limitación. El número en paréntesis es calculado como:  $(\% \text{ de AAE en la proteína del alimento}/\% \text{ de AAE en la proteína de la leche}) \times 100$ .

Fuente: Chandler, (1989), adaptado por Santos et al. (1998).

Según dicho índice, es posible establecer un ranking en el cual se evidencian las virtudes de la proteína microbiana para satisfacer los requerimientos de aminoácidos esenciales. En segundo lugar se encuentra la harina de soja, presentando un perfil de aminoácidos esenciales relativamente completo (Santos et al., 1998), a pesar de tener a la metionina como uno de los tres aminoácidos más limitantes. La proporción de metionina en el total de aminoácidos esenciales de esta fuente equivale al 56% de la metionina que aparece en la proteína de la leche. La harina de pescado según éste índice aparece en tercer lugar.

Schwab (1994), citado por Santos et al. (1998), propuso que las fuentes proteicas deberían ser comparadas por su porcentaje de lisina y metionina en relación a la cantidad total de aminoácidos esenciales que llegan al duodeno; sugiriendo como óptimo una relación de 15 y 5% respectivamente (Schwab et al., 1992; Rulquin y Verité, 1993 citados por Santos et al., 1998). En consecuencia los suplementos desbalanceados o con bajos contenidos en lisina y metionina no mejorarían la performance lechera (Schwab, 1994).

Santos et al. (1998) realizaron una revisión, en la cual se resume y evalúa 12 años de literatura (1985-1997) referente a los efectos del reemplazamiento de la harina de soja por fuentes ricas en proteína by pass sobre diversos aspectos vinculados a la nutrición

proteica y producción de leche. Entre las fuentes evaluadas se encuentran: harina de pescado, harina de carne y hueso, harina de plumas, harina de sangre, gluten meal, granos de destilería secos, granos de destilería secos con adición de solubles y granos de cervecería húmedos. En el cuadro 16 se presenta las proporciones de lisina y metionina en relación al total de aminoácidos esenciales, así como el contenido de éstos en la proteína total.

**Cuadro 16:** Contenido de Lisina y Metionina y de aminoácidos esenciales (AAE) de la proteína microbiana y suplementos proteicos comparados con la leche.

	Lisina	Metionina	AAE
	% del total de AAE		% de la PC
<b>Leche</b>	16.4	5.1	38.4
<b>Microorganismos</b>	15.9	5.2	33.1
<b>H. de pescado</b>	16.9	6.5	44.8
<b>H. de sangre</b>	17.5	2.5	49.4
<b>Granos cervecería secos</b>	6.7	4.5	46.3
<b>Gluten meal</b>	3.8	7.2	44.2
<b>Granos dest. secos c/solubles</b>	6.5	3.7	43.3
<b>H. de plumas</b>	3.9	2.1	31.4
<b>H. de carne y hueso 45%</b>	12.4	3.0	39.4
<b>H. de carne y hueso 50%</b>	14.2	3.7	36.6
<b>H. de soja tratada</b>	13.8	3.1	47.6
<b>Expeller de H. de soja</b>	13.0	2.9	49.6

Fuente: Schwab (1994), adaptado por Santos et al. (1998).

En el cuadro 16 se observa la similitud en cuanto al contenido de lisina y metionina de la leche y los microorganismos, siendo la mejor fuente de proteína disponible para la síntesis de leche (Santos et al., 1998). De todas las fuentes proteicas evaluadas, la harina de pescado es la única que presenta un buen balance entre ambos aminoácidos (Santos et al., 1998), además aporta cantidades considerables de aminoácidos esenciales. La harina de sangre, si bien tiene una elevada proporción de aminoácidos esenciales en su proteína, presenta bajos contenidos de metionina, generando un desbalance en la relación lisina/metionina que podría afectar negativamente la performance de las vacas en algunas situaciones. Por el contrario, el gluten meal es una excelente fuente de metionina pero es baja en lisina. Los subproductos secos de destilería y cervecería presentan bajos contenidos en lisina, siendo medios en metionina. La harina de plumas es una fuente pobre en ambos aminoácidos. La harina de soja y la harina de carne y hueso tienen contenidos medios de lisina y medios a bajos en metionina, a pesar de esto, no presentan un serio desbalance

en al relación lisina/metionina como ocurre con la harina de sangre y el gluten meal (Santos et al., 1998).

De lo expuesto, se puede concluir que la harina de pescado es una fuente proteica de elevado sobrepaso ruminal y excelentes características en cuanto a su perfil de aminoácidos, el cual es muy similar al requerido para el crecimiento bovino y la producción de leche (Tamminga, 1982 citado por Hussein y Jordan, 1991). Además, es la fuente de RUP que mejor contribuye al balance de los dos aminoácidos más limitantes, beneficiando la performance de las vacas (Schwab, 1994 citado por Santos et al, 1998). De las 26 comparaciones citadas por Santos et al. (1998), sólo cuando se suplementó harina de pescado se observó un incremento significativo en el flujo de metionina al duodeno (Zerbini et al., 1988); para la lisina, esto ocurrió sólo en dos casos y fue cuando la harina de pescado participó como uno de los componentes principales de la mezcla (Christensen et al., 1993).

Se ha reconocido el elevado valor de la grasa de los productos marinos, debido a su composición rica en ácidos grasos de cadena larga poliinsaturados, fundamentalmente de la familia omega-3, los cuales beneficiarían tanto a animales como a humanos al consumirlos. El aceite de pescado y/o la harina de pescado pueden ser utilizados para introducir e incrementar los niveles de EPA y DHA en la carne, huevos y leche (Pike, 1999). Generalmente, la composición de la grasa en los animales refleja la grasa de la dieta; los niveles de estos ácidos grasos en la dieta determinarán los niveles en los productos (Pike, 1999).

Diversos beneficios son citados en la bibliografía por la inclusión de harina de pescado en la dieta de monogástricos y rumiantes, entre estos se encuentran: mejoras en la productividad, crecimiento, salud y fertilidad, mayores utilidades del forraje en dietas basadas en pasturas, mejor conversión del alimento en producto e incrementos del valor nutritivo de los productos obtenidos (Pike, 1999).

Sin embargo, los resultados de performance productiva publicados en las últimas dos décadas, utilizando la harina de pescado como el principal suplemento proteico han sido inconsistentes (Hussein y Jordan, 1991). Esta inconsistencia puede estar explicada en parte, por la variabilidad de la harina de pescado, como consecuencia de diversos factores desde la materia prima hasta el procesamiento. La variabilidad en la respuesta a la suplementación es sorprendente, debido a que la harina de pescado es una fuente de elevado escape ruminal y, cuando se procesa correctamente, se digiere bien en el intestino delgado (Hussein y Jordan, 1991).

## 2.3. EFECTOS SOBRE LA PRODUCCION Y COMPOSICION DE LA LECHE

### 2.3.1. Efectos sobre la producción de leche

Diversos factores son citados en la bibliografía para explicar los efectos de la suplementación con RUP sobre la producción de leche. La capacidad de las vacas para responder a un incremento en el suministro de proteína al intestino delgado tendría restricciones por la edad del animal, mérito genético, etapa de lactancia ó disponibilidad de otros nutrientes (Mäntysaari et al., 1989), en adición, la digestión y absorción, el contenido de energía de la ración y el perfil de aminoácidos de la proteína by bass, influenciarían la performance (Chiou et al., 1997).

Existe una vasta literatura respecto a los efectos de la suplementación con harina de pescado sobre la producción de leche; en la misma se mencionan resultados positivos, negativos y situaciones sin respuestas.

La respuesta en producción de leche a la suplementación con harina de pescado, presenta variaciones de acuerdo al tipo de dieta base suministrada.

Según Klopfenstein (1996) citado por Schroeder y Gagliostro (2000) la suplementación proteica en los sistemas pastoriles sería necesaria. Asumiendo que en pasturas de alta calidad, más del 70% de la proteína se degrada en el rumen (Hongerholt y Muller, 1998 citados por Schroeder y Gagliostro, 2000) una respuesta en términos de producción de leche, solo será factible con el suministro de suplementos de baja degradabilidad ruminal (Rearte, 1992; Klopfenstein, 1996 citado por Schroeder y Gagliostro, 2000). Sin embargo, bajo estas condiciones de alimentación, los efectos de la suplementación con RUP, no están claramente establecidos (Schroeder y Gagliostro, 2000). Trabajando sobre pasturas de primavera y con vacas en lactancia temprana, Schor (1996), reportó mayores rendimientos en leche por el incremento de la cantidad de RUP. Sin embargo, sobre pasturas de otoño–invierno y con vacas en lactancia media, Bargo (1997), no encontró respuesta. Schroeder y Gagliostro, (2000) evaluaron el efecto de la suplementación con harina de pescado en condiciones de pastoreo, utilizando para ello una pastura basada en alfalfa (*Medicago sativa* L.) y otra en donde predominaba el raygrass (*Lolium perenne* L.). Los resultados de esta investigación, indicaron que la inclusión de harina de pescado incrementó la producción de leche 1.6 kg/día, respecto a la dieta control con harina de girasol y de esta forma, contribuyen a demostrar la ventaja de incrementar los niveles de RUP a expensas de RDP, en dietas donde el suministro de esta última es excesivo.

La alfalfa, por su elevado contenido de proteína y su baja proporción relativa de fibra, representa la principal fuente de forraje para el ganado lechero en los EEUU (Vagnoni y Broderick, 1997). Sin embargo, diversas investigaciones han demostrado

que su conservación bajo la forma de silo, incrementa el contenido de nitrógeno no proteico (NNP) como consecuencia de las reacciones que ocurren durante la fermentación (Muck, 1987 y Broderick, 1990 citados por Broderick, 1992). Esta degradación de la proteína verdadera de la alfalfa a NNP, que ocurre durante el ensilado, reduce la eficiencia de utilización de la proteína y podría llevar a disminuciones en la producción de leche (Broderick, 1985 citado por Broderick, 1995). En estas condiciones, la suplementación con RUP se ha reportado con resultados favorables en términos de producción de leche, como lo demuestran las investigaciones de Glenn et al. (1986); Dhiman y Satter (1989) y Nagel y Broderick (1992) citados por Broderick (1992). En dietas basadas en silo de alfalfa, la investigación de Broderick (1992), señala que la suplementación con harina de pescado, resultó en incrementos en la producción de leche en comparación con la suplementación con harina de soja. Este autor, atribuyó sus resultados al aporte de proteína by pass que realiza la harina de pescado, el cual corregiría la deficiencia proteica ocasionada por el elevado contenido de NNP presente en el silo.

Comparando silo y heno de alfalfa, la suplementación con harina de pescado incrementó significativamente la producción de leche en ambas situaciones, aunque la respuesta fue mayor para el caso del silo (Vagnoni y Broderick, 1997).

De acuerdo con Van Horn y Powers (1992) citados por Polan et al. (1997), la respuesta en producción de leche a la suplementación con RUP, presentó un efecto más positivo para las dietas basadas en silo de alfalfa, que para aquellas basadas en silo de maíz. Estos autores especularon, que en virtud de su mayor contenido proteico, las dietas basadas en silo de alfalfa, requerirían una menor suplementación comparadas con las de silo de maíz y de este modo, las pequeñas cantidades de RUP suplementadas, pudieron haber sido más eficaces en el primer caso. Sin embargo, Polan et al. (1997) sugirieron que las diferencias podrían explicarse por una mayor contribución de la proteína microbiana a los requerimientos del animal, en el caso del silo de maíz. El mayor contenido de almidón fermentable de este forraje, proveería a las bacterias del rumen, de la energía necesaria para mejorar la eficiencia de utilización del amoníaco producto de la hidrólisis de las proteínas, favoreciendo así la producción de proteína microbiana.

Blauwikel et al. (1990), trabajando con dietas basadas en silo de maíz, no encontraron respuesta a la suplementación con harina de pescado, atribuyendo sus resultados a que la dieta control presentaba un buen balance entre RUP y RDP. Por su parte, Calsamiglia et al. (1995), trabajando con vacas canuladas en rumen y en duodeno, tampoco evidenciaron ventajas en el rendimiento en leche, por la infusión de harina de pescado en ambos sitios. En una investigación realizada por Mäntysaari et al. (1989), se intentó evaluar entre otros, el efecto de la suplementación con harina de pescado sobre la producción de leche en lactancia temprana. Los resultados de este trabajo, no fueron diferentes a los reportados por los autores mencionados previamente y contribuyen a

demostrar la falta de respuesta a la suplementación con harina de pescado en dietas basadas en silo de maíz.

A diferencia de lo antes mencionado, en un resumen de 8 estudios en los cuales el silo de maíz fue la principal fuente de forraje de la dieta, la harina de pescado incrementó la producción de leche en promedio en 1.6 kg/día (Pike et al., 1993 citados por Burke et al., 1997). Datos que confirman lo reportado previamente por Wohlt et al. (1991) citados por Broderick (1992), quienes evidenciaron mayores rendimientos en leche por la suplementación de harina de pescado, en dietas con 50% de silo de maíz.

Comparada con otros suplementos proteicos, la harina de pescado también ha presentado resultados variables dependiendo entre otros factores, del contenido de proteína de la ración y de la cantidad y calidad del suplemento utilizado como control.

En un experimento utilizando 13 rodeos lecheros comerciales, Miller y Galwey (1981) citados por Hussein y Jordan (1991), determinaron el efecto del reemplazamiento de 0.75 kg de cebada ó pulpa de remolacha azucarera por harina de pescado. Los resultados del mismo evidenciaron que los rendimientos en leche fueron incrementados significativamente por la inclusión de harina de pescado en 2.48 kg/día en las primeras cuatro semanas de lactancia y en 0.95 kg/día hasta la semana dieciséis del período experimental. Sin embargo, esta respuesta pudo estar influenciada por el mayor contenido de proteína de la dieta suplementada con harina de pescado. Similares resultados obtuvieron Erfle et al. (1983) citados por Blauwiel et al. (1990) y Orskov et al. (1987), aunque en estos estudios, la suplementación con harina de pescado también determinó un mayor contenido de proteína total en la dieta.

Trabajando sobre dietas isonitrogenadas, diversos estudios citados en la revisión de Hussein y Jordan (1991) evidenciaron que la suplementación con harina de pescado no mejoró el rendimiento en leche, cuando reemplazó a la harina de maní (Orskov et al., 1981), a la urea (Oldham et al., 1985; Garnsworthy, 1989), ó al gluten meal (Blauwiel et al., 1989, Spain et al., 1989). Sin embargo, Santos et al. (1998) resumiendo los trabajos que comparaban a la harina de pescado con esta última fuente proteica, reportaron efectos positivos en 5 de las 9 comparaciones analizadas. Según estos últimos autores, los datos muestran claramente cómo dietas con similares cantidades de RUP pueden afectar en forma diferente la performance productiva de las vacas. Estas diferencias estarían probablemente relacionadas con el perfil de aminoácidos esenciales de las fuentes de RUP (Santos et al., 1998). Asumiendo que lisina y metionina son los dos primeros aminoácidos que limitan la producción de leche (Schwab et al., 1976; Casper y Schingoethe, 1989; Rulquin et al., 1993 citados por O´ Mara et al., 1997 y King et al., 1990; Schwab et al., 1992 citados por Santos et al., 1998), el gluten meal podría ser clasificado como una fuente proteica de mala calidad, en tanto la harina de pescado sería la única fuente de RUP que presenta un balance óptimo de lisina y metionina (Santos et al., 1998).

Comparando la harina de pescado con la harina de soja, los resultados han sido más variables. La harina de soja presenta un perfil de aminoácidos esenciales relativamente completo (Santos et al., 1998) y un índice de aminoácidos esenciales (Chandler, 1989 citado por Santos et al., 1998) superior al de la harina de pescado (ver cuadro 15). Esto podría ser una de las causas que explicarían la falta de respuesta en términos de producción de leche, reportada en diversas investigaciones que comparaban la suplementación con harina de pescado respecto a esta fuente proteica (Chmiel, 1987; Sloan et al., 1988; Zerbini et al., 1988; McCarthy et al., 1989 y Bruckental et al., 1989 citados por Hussein y Jordan, 1991). Sin embargo, Zerbini et al. (1988) y McCarthy et al. (1989) citados por Hussein y Jordan (1991) mencionan que la causa sería una disminución en la síntesis de proteína microbiana en el rumen provocada por la suplementación con harina de pescado, que compensaría el incremento en el flujo duodenal de aminoácidos de la dieta registrado e impediría aumentar la cantidad total de aminoácidos llegando al intestino delgado.

Santos et al. (1998), en su revisión sobre los trabajos realizados entre los años 1985 y 1997 que comparaban la sustitución de la harina de soja por harina de pescado, resumieron 32 comparaciones de 21 ensayos de lactación. En el 25% de los casos (8 comparaciones), el rendimiento en leche fue incrementado significativamente por la suplementación con harina de pescado. En el 75% restante, la respuesta no fue estadísticamente significativa. A diferencia de esto, en 20 comparaciones revisadas por Van Horn y Harris (1993) citados por Polan et al. (1997), la suplementación con harina de pescado generó la respuesta más consistente en el rendimiento en leche, con valores próximos a 1 kg/día, cuando se la comparó con la harina de soja.

El nivel de inclusión de harina de pescado es un factor a considerar a la hora de suplementar las dietas para vacas lecheras, en virtud de los efectos negativos sobre el consumo de materia seca (CMS) que se han evidenciado en diversas investigaciones. Reducciones en esta variable, han sido reportadas frecuentemente por la inclusión de harina de pescado en proporciones mayores a 6.5% de la materia seca de la dieta (Atwal y Erfle, 1992; Bruckental et al., 1989 citados por Carroll et al., 1994). Oldham et al. (1985) citados por Mäntysaari et al. (1989), reportaron que las vacas restringieron el CMS cuando la harina de pescado se suministró en una proporción del 8%, pero no cuando se la incluyó a razón del 5% de la MS de la dieta. Sin embargo, Santos et al. (1998), reportaron que la harina de salmón provocó descensos en el CMS cuando fue suplementada en niveles mayores al 5%. Los resultados de la investigación de Bowers et al. (1965) citados por Blauwiel et al. (1990) indican que la harina de pescado afectó la palatabilidad de la dieta y consecuentemente el CMS de los animales. Problemas de palatabilidad han sido reportados además por Nicholson y Sutton (1971) citados por Mäntysaari et al. (1989). Según estos últimos autores, los problemas de palatabilidad podrían deberse a un “sabor a pescado” en el alimento, aún cuando el olor a pescado en la ración difícilmente fue reconocido por los humanos. Sin embargo, Santos et al. (1998)

atribuyen los efectos negativos de la harina de salmón sobre el consumo, a su elevado contenido de grasa insaturada.

Sabida es la relación directa existente entre el CMS y la producción de leche. El consumo es el factor determinante de la cantidad de nutrientes que ingiere el animal para la producción de carne o leche, explicando más del 60% de las variaciones en términos de aporte de nutrientes. Según Waldo (1986) citado por Chilbroste (2000), la productividad de un animal dada cierta dieta, depende en más de un 70% de la cantidad de alimento que pueda consumir y en menor proporción de la eficiencia con que digiera y metabolice los nutrientes consumidos. Los resultados de la investigación de Windschitl (1991) citado por Cunningham et al. (1996) muestran cómo incrementos en la cantidad de RUP, en dietas suplementadas con harina de salmón, disminuyen la producción de leche debido a una reducción en el CMS.

En un experimento con vacas en lactancia media ( $131 \pm 14$  días) y produciendo  $27 \pm 2$  kg de leche por día al comienzo del estudio, se evaluaron los efectos de cuatro niveles de inclusión de harina de pescado en una dieta basada en silo de maíz (Spain et al., 1995). La inclusión de harina de pescado en niveles de 0, 2.6, 5.2 y 7.8% de la materia seca de la dieta, redujo significativamente el consumo al mayor nivel de inclusión, aunque las diferencias en esta variable no fueron de suficiente magnitud como para alterar la producción de leche (Spain et al., 1995). Sin embargo, la suplementación con harina de pescado con niveles inferiores a 4% de la materia seca de la dieta puede estimular incrementos en la producción de leche (Broderick, 1992; Carroll et al., 1994; Burke et al., 1997).

Como se mencionó anteriormente, existen factores intrínsecos del animal que condicionan la respuesta a la suplementación proteica con fuentes de baja degradabilidad ruminal, entre estos se destacan el mérito genético o potencial de producción, la etapa de lactancia y la edad del animal o número de lactancia (Mäntysaari et al., 1989; Chiou et al., 1997).

Respecto al potencial de producción, los datos de la revisión de Santos et al. (1998) establecen que las vacas con producciones mayores a 30 kg/día, fueron las que más se beneficiaron por la suplementación con harina de pescado, tanto en comparación con la harina de soja como con el gluten meal. Estos datos serían confirmados además, por los resultados de las investigaciones de Oldham (1984) y Sloan et al. (1988) citados por Chiou et al. (1997), quienes no evidenciaron ventajas en la producción de leche por la inclusión de harina de pescado, trabajando con rodeos que promediaban los 27 kg/día. Erfle et al. (1983) y Spain et al. (1989) citados por Atwal y Erfle (1992), tampoco reportaron incrementos en el rendimiento, con vacas produciendo menos de 27 kg/día. Los resultados antes mencionados, se explicarían porque en las vacas de alta producción, la proteína microbiana suministra una proporción cada vez menor de los requerimientos

y de este modo, cantidades crecientes de proteína de la dieta deben escapar a la degradación ruminal para satisfacerlos (Santos et al., 1998).

Otro factor que influye sobre la respuesta a la suplementación con RUP, es la etapa de lactancia. Las vacas lactando sufren muchos cambios metabólicos durante las primeras semanas post parto, el pico de producción de leche ocurre entre las semanas 5 y 8 pero, el máximo consumo de materia seca no se alcanza hasta la semana 10 a 14; de este modo, las vacas en lactancia temprana presentan un balance energético negativo y probablemente deficiencias en proteína metabolizable (Jeffrey et al., 1995) y se ha reportado que responden a la suplementación proteica que escapa a la degradación ruminal con incrementos en la producción de leche (NRC, 1985 citado por Chiou et al., 1997) siempre que la dieta tenga un buen balance entre proteína *by pass* y proteína degradable en rumen (Jeffrey et al., 1995; Cunningham et al., 1996; Santos et al., 1998).

Diversas investigaciones, en las cuales se evaluó el efecto de la suplementación con harina de pescado, han reportado resultados favorables en términos de producción de leche, cuando la misma se realizó en lactancia temprana (Broderick, 1992; Atwal y Erfle, 1992; Keady y Murphy, 1998; Schroeder y Gagliostro, 2000). Sin embargo en los trabajos de Mäntysaari et al. (1989) y Polan et al. (1997), la suplementación con harina de pescado en esta etapa de la lactancia, no se tradujo en incrementos en la producción de leche. Los resultados de la investigación de Carroll et al. (1994), contribuyen a demostrar los efectos benéficos de la suplementación en lactancia temprana. Estos investigadores, trabajando con dietas suplementadas con 3.5% de harina de pescado, observaron una tendencia a incrementar los rendimientos en leche durante las primeras seis semanas de lactancia. Esta diferencia se perdió una vez alcanzado el pico de producción, confirmando los resultados previos de Miller y Galwey (1981) citados por Hussein y Jordan (1991) y Wohlt et al. (1991) citados por Carroll et al. (1994).

Durante la lactancia media, el status energético se mueve de negativo hacia positivo, debido fundamentalmente al incremento en la capacidad de consumo de los animales y al descenso progresivo en la producción de leche, que se evidencia una vez que las vacas alcanzan su máxima producción. Esto, sumado a un cambio gradual en la partición de nutrientes desde la producción de leche hacia la deposición de tejidos corporales, que se produce a medida que avanza la lactancia, hace que la suplementación con RUP probablemente sea innecesaria. En esta etapa de la lactancia, la suplementación con harina de pescado, no ha mostrado efectos positivos sobre la producción de leche en diversas investigaciones (Spain et al., 1990 citados por Carroll et al., 1994; Broderick, 1992; Calsamiglia et al., 1995). Sin embargo, O'Mara et al. (1998), reportaron mayores producciones de leche en vacas en lactancia media suplementadas con harina de pescado, aunque mencionan que la respuesta fue de pequeña magnitud.

Las vacas primíparas por encontrarse aún en crecimiento y destinar parte de la energía consumida a ese fin, presentan una capacidad limitada para responder a mayores

suministros de RUP con incrementos en la producción de leche (Mäntysaari et al., 1989). Los resultados de la investigación de estos autores confirman lo antes mencionado, en virtud de que no se evidenciaron ventajas en el rendimiento en leche por la suplementación con harina de pescado, trabajando con un rodeo de 80 vacas primíparas en lactancia temprana. Similares resultados con vacas primíparas han sido reportados además por Roffler et al. (1978) y por Leonard y Block (1986) citados por Mäntysaari et al. (1989). Las vacas multíparas al no destinar nutrientes para el crecimiento, se verían más beneficiadas por la suplementación con fuentes de RUP; sin embargo, la respuesta en términos de producción de leche a un incremento en la proteína by pass no siempre ocurre, como lo demuestran los resultados de la investigación de Akayezu et al. (1997). Estos autores señalan que la sustitución parcial de la harina de soja por la harina de pescado, en dietas con 16% de PC, incrementó significativamente el rendimiento en leche de las vacas primíparas, pero no de las multíparas.

Diversos mecanismos han sido propuestos para explicar los efectos positivos de la suplementación con RUP sobre la producción de leche. Los mayores rendimientos en leche observados en las vacas alimentadas con dietas ricas en proteína by pass estarían relacionados con un incremento en el suministro de proteína de la dieta al intestino delgado; aunque, el mayor consumo de energía sería además un factor que contribuiría a esta respuesta (Khorasani et al., 1994). Según Cunningham et al. (1996), los incrementos en la cantidad de RUP de la dieta tendieron a incrementar la producción de leche a través de una mejora en el estatus proteico, en el consumo de energía metabolizable o ambas. La suplementación con harina de pescado, según Carroll et al. (1994), mejoró la producción de leche a través de un incremento en el suministro de aminoácidos limitantes al duodeno. Datos que concuerdan con los reportados por Broderick (1992), quién atribuyó los efectos benéficos de la suplementación con harina de pescado, al aporte de proteína by pass que realiza esta fuente, el cual corregiría la deficiencia proteica ocasionada por el elevado contenido de nitrógeno no proteico presente en el silo de alfalfa. Sin embargo, para Atwal y Erfle (1992), el incremento en la producción de leche sería debido a una mejor relación aminoácidos/energía metabolizable (AA/EM). Schroeder y Gagliostro, (2000), trabajando con vacas en pastoreo, encontraron respuestas positivas en el rendimiento por la inclusión de harina de pescado en la dieta y atribuyeron estos resultados, a una mayor cantidad y calidad de aminoácidos absorbidos, a una mayor disponibilidad de glucosa para la glándula mamaria y al incremento en la movilización de grasa corporal. Las mayores concentraciones de glucosa en plasma en las vacas alimentadas con harina de pescado, suponen una mayor disponibilidad de este carbohidrato para la síntesis de lactosa en la glándula mamaria, principal regulador osmótico del volumen de leche (Schroeder y Gagliostro, (2000). La concentración de ácidos grasos no esterificados (AGNE) en plasma, ha sido utilizada como un indicador de la movilización de reservas del tejido adiposo (Erfle et al., 1974 citados por Blauwiekel et al., 1990). Los mayores niveles de AGNE en plasma, observados en las vacas suplementadas con harina de pescado, sugieren que la misma mejoró la movilización de grasa corporal (Orskov et al., 1987; Schroeder y Gagliostro, 2000). No

esta claro cómo la proteína absorbida puede inducir la movilización de grasa corporal, pero se han postulado dos mecanismos: a) incrementos en la afinidad del tejido adiposo a la lipólisis y b) descensos en la respuesta a los estímulos antilipolíticos de la insulina (Cadórniga y López Díaz, 1995 citados por Schroeder y Gagliostro, 2000). Sin embargo, estos mecanismos no pudieron ser confirmados en la investigación de Schroeder y Gagliostro, (2000).

A pesar de que en diversas investigaciones se han reportado efectos positivos sobre la producción de leche por la inclusión de harina de pescado en la dieta de vacas lecheras (Broderick, 1992; Atwal y Erfle, 1992; Van Horn y Harris, 1993 citados por Polan et al., 1997; Carroll et al., 1994; O'Mara et al., 1998; Schroeder y Gagliostro, 2000), en otras, la suplementación no se tradujo en mayores rendimientos en leche (Orskov et al., 1981; Chmiel, 1987; Sloan et al., 1988; Zerbini et al., 1988 y McCarthy et al., 1989 citados por Hussein y Jordan, 1991; Mäntysaari et al., 1989; Calsamiglia et al., 1995; Polan et al., 1997). En algunos casos, la falta de respuesta en producción de leche sería debido a la utilización de vacas que ya habían alcanzado el pico de producción y probablemente su máximo consumo (Higginbotham et al., 1989 citados por Christensen et al., 1993). En otros casos, se debió a que la dieta control, con la cual se comparó la inclusión de harina de pescado era balanceada en proteína degradable y RUP (Blauwiel et al., 1990; NRC, 1985 y NRC, 1989 citados por Santos et al., 1998). Tampoco se obtuvo respuesta cuando el consumo de materia seca fue elevado y la disponibilidad de proteína y energía no fueron limitantes, ó cuando los rendimientos son bajos (Clark et al., 1992; Christensen et al., 1993 citados por Akayezu et al., 1997; Polan et al., 1997).

En la revisión bibliográfica efectuada, pocos casos se reportan con efectos negativos de la suplementación con harina de pescado sobre el rendimiento en leche. En el estudio de Windschitl (1991) citado por Cunningham et al. (1996), la suplementación con harina de salmón tuvo un impacto negativo sobre la producción de leche, como consecuencia de una disminución en el consumo de materia seca. Por su parte, Chiou et al. (1997) también menciona una disminución en el rendimiento, cuando la harina de pescado reemplazó parcialmente a la harina de soja en la dieta. Estos autores atribuyen sus resultados a una falta de respuesta positiva en el flujo de nitrógeno de la dieta al intestino delgado o a una disminución en la síntesis de proteína microbiana. Además mencionan que la mayor concentración de propiónico en rumen observada en el grupo suplementado con harina de pescado respecto al tratamiento control, podría ser un factor que contribuiría a explicar los resultados obtenidos; desde que Hurtaud et al. (1993) citados por Chiou et al. (1997) evidenciaron una tendencia a disminuir la producción de leche con infusiones de propiónico en rumen.

## 2.3.2. Efectos sobre la producción de sólidos de la leche

### 2.3.2.1. Producción de proteína

El conocimiento de la nutrición proteica de los rumiantes, especialmente de vacas lactando, ha avanzado considerablemente en los últimos años; y mucho de este conocimiento ha sido el resultado de estudios detallados de los diversos factores que contribuyen a la disponibilidad y calidad potencial de la proteína para la absorción intestinal y síntesis de proteína de la leche (Polan et al., 1997).

Los rendimientos de proteína en leche pueden estar limitados, entre otros factores, por el suministro de proteína al intestino delgado ó bien, por el suministro de uno o más aminoácidos. La proteína microbiana es la principal fuente para la síntesis de leche y proteína láctea (Polan et al., 1997; Santos et al., 1998) y depende principalmente de la tasa de fermentación de los componentes de la dieta (NRC, 1985; Nocek y Russell, 1988 y O'Conner et al., 1993 citados por Polan et al., 1997). Sin embargo, su aporte relativo es cada vez menor a medida que se incrementa la producción, debiendo complementarse con fuentes de proteína by pass, para suministrar las cantidades necesarias de aminoácidos limitantes. La harina de pescado, por su baja degradabilidad ruminal, por su elevado contenido y buen balance de aminoácidos esenciales (principalmente lisina y metionina) y por su alta digestibilidad, es considerada como una excelente fuente de proteína by pass para maximizar los rendimientos en leche y proteína.

Sin embargo, los efectos de la suplementación con harina de pescado sobre el contenido de proteína de la leche han sido variables, dependiendo entre otros factores, de la dieta base suministrada y de los suplementos proteicos utilizados como control. Además, al igual que en la producción de leche, el potencial de los animales, la etapa de la lactancia y el número de lactancia influyen sobre la respuesta obtenida.

En condiciones de pastoreo, la excesiva degradabilidad ruminal de la proteína de las pasturas, sumado a un ambiente ruminal subóptimo para el crecimiento bacteriano como consecuencia del menor pH del rumen registrado en animales pastoreando praderas de alta calidad (Santini y Ruiz, 1985; Santini y García Astrada, 1985 citados por Rearte, 1992), podrían generar una situación con insuficientes niveles de proteína metabolizable disponible para el animal, lo que limitaría la síntesis de proteína de la leche en la glándula mamaria. (Rearte, 1992). Considerando esto y dada las características de la harina de pescado, la inclusión de este suplemento en la dieta corregiría estas deficiencias, pudiendo inducir incrementos en la síntesis de proteína de la leche. En la investigación realizada por Schroeder y Gagliostro (2000), la suplementación con harina de pescado, incrementó la producción de proteína de la leche de 0.81 a 0.90 kg/día, respecto al tratamiento control. En este trabajo, el porcentaje de proteína no fue incrementado significativamente, sin embargo los autores atribuyeron

estos resultados a un efecto de dilución, en virtud de los mayores rendimientos en leche registrados en el tratamiento con harina de pescado.

Como ya fuera mencionado, las dietas basadas en silo de alfalfa presentan niveles excesivos de NNP, que reducen la eficiencia de utilización de la proteína y pueden determinar deficiencias proteicas (Broderick, 1985 citado por Broderick, 1995). En estas condiciones, la suplementación con harina de pescado incrementó la producción y el contenido de proteína de la leche, debido al aporte de proteína *by pass* que realiza este suplemento (Broderick, 1992). Cuando la base fue silo de trébol rojo, los incrementos por la inclusión de harina de pescado en la dieta fueron menores respecto al silo de alfalfa (Broderick et al., 2000). Diversas investigaciones han comparado los efectos de la suplementación con harina de pescado sobre dietas basadas en silo ó heno de alfalfa (Broderick, 1995; Vagnoni y Broderick, 1997). Los resultados de las mismas indican que la respuesta en términos de rendimiento en proteína fue positiva en ambos casos, pero mayor para el silo de alfalfa, demostrando un status proteico más deficitario sobre esta base forrajera.

Las dietas basadas en silo de maíz probablemente presenten desbalances entre nitrógeno y energía, como consecuencia de la composición química de este forraje. El silo de maíz es un suplemento rico en energía pero con bajos contenidos de proteína, la cual además presenta marcadas deficiencias en lisina (Church y Pond, 1996). En estos casos, la suplementación con harina de pescado contribuiría a mejorar el balance de lisina y metionina, situándolo más cerca de las proporciones mencionadas por Schwab et al. (1992); Schwab (1994) y Rulquin y Verité (1993) citados por Santos et al. (1998), como ideales para maximizar la producción de leche y la síntesis de proteína.

En un resumen de 8 estudios en los cuales el silo de maíz fue la principal fuente de forraje de la dieta, Pike et al. (1993) citados por Burke et al. (1997) reportaron que el contenido de proteína de la leche mostró una tendencia a incrementarse ó a permanecer sin cambios, cuando se suplementó harina de pescado. Chiou et al. (1997), trabajando con dietas isonitrogenadas e isoenergéticas sobre la misma base, evidenciaron que la suplementación con harina de pescado incrementó significativamente la concentración de proteína de la leche, debido a un mayor flujo de aminoácidos de la dieta al intestino delgado. Sin embargo, cuando se observa el rendimiento de proteína, la harina de pescado no mostró ventajas respecto al control. Según los autores, estas diferencias se explicarían por la menor producción de leche registrada en el tratamiento con harina de pescado, equivalente a 2.5 kg/día. Del mismo modo, Calsamiglia et al. (1995) reportaron incrementos significativos en la concentración de proteína de la leche por la infusión de este suplemento tanto en rumen como en duodeno, sin registrar variaciones en la producción diaria de esta fracción. En otras investigaciones con dietas basadas en silo de maíz, la suplementación con harina de pescado no produjo variaciones en la concentración de proteína de la leche (Mäntysaari et al., 1989; Blauwiel et al., 1990; Polan et al., 1997).

Comparada con otros suplementos proteicos, la suplementación con harina de pescado ha presentado resultados variables.

Oldham et al. (1985) citados por Hussein y Jordan (1991) indicaron que la sustitución total o parcial de la urea por harina de pescado, no mejoró significativamente el porcentaje de proteína de la leche. Sin embargo, los resultados de la investigación de Cizuk y Lindberg (1988) citados por Hussein y Jordan (1991), muestran que la suplementación con cantidades crecientes de harina de pescado, resultó en incrementos decrecientes en la proteína de la leche, respecto a la urea. Estos investigadores, atribuyeron sus resultados a la mayor cantidad de aminoácidos que escapan a la degradación microbiana, en el tratamiento con harina de pescado.

En diversas investigaciones, cuando la harina de pescado reemplazó a la harina de soja en la dieta, no se evidenciaron incrementos en la concentración de proteína de la leche (Chmiel, 1987; Sloan et al., 1988; Zerbini et al., 1988; Bruckental et al., 1989; McCarthy et al., 1989 citados por Hussein y Jordan, 1991). Estos resultados concuerdan con lo señalado en la revisión de Santos et al. (1998), donde se menciona que el porcentaje de proteína no fue afectado de forma consistente, por la suplementación con harina de pescado. Según Zerbini et al. (1988) y McCarthy et al. (1989) citados por Hussein y Jordan (1991), esto podría deberse a una reducción en la síntesis de proteína microbiana en el rumen, provocada por la inclusión de harina de pescado en detrimento de la proporción de nitrógeno degradable en la dieta.

Respecto a otras fuentes proteicas *by pass*, diversos trabajos han evidenciado que la suplementación con harina de pescado no mejoró el contenido y la producción de proteína de la leche, cuando se la comparó con la harina de carne y hueso (Randel, 1970 y Davison et al., 1982 citados por Mäntysaari et al., 1989), con el gluten meal (Blauwiel et al., 1989; Santos et al., 1998), ó con diferentes mezclas de RUP (Mäntysaari et al., 1989; Polan et al., 1997).

Cuando se compararon cuatro niveles de inclusión de harina de pescado 0, 2.6, 5.2 y 7.8% de la materia seca de la dieta, no se observaron cambios significativos en el porcentaje de proteína de la leche (Spain et al., 1995).

Respecto al potencial de producción de los animales Santos et al. (1998), mencionan que las vacas rindiendo menos de 30 kg/día mostraron una tendencia a disminuir los porcentajes de proteína de la leche por la suplementación con harina de pescado.

La etapa de lactancia es un factor que puede influenciar la respuesta en rendimiento y concentración de proteína de la leche, en virtud de que en lactancia temprana son más probables incrementos en la producción de leche, mientras que en

lactancia media se incrementa principalmente el contenido de proteína (Rulquin y Verité, 1993 citados por Schroeder y Gagliostro, 2000). En numerosos casos de la bibliografía revisada que utilizaron vacas en lactancia temprana, el porcentaje de proteína de la leche no fue afectado por la suplementación con harina de pescado (Blauwiel et al., 1990; Carroll et al., 1994; 1994; Polan et al., 1997; Schroeder y Gagliostro, 2000). Sin embargo, cuando se utilizaron vacas en lactancia media el porcentaje de proteína se incrementó por la inclusión de este suplemento (Calsamiglia et al., 1995; Akayezu et al., 1997; O'Mara et al., 1998). Vale la pena resaltar que la suplementación con harina de pescado según la etapa de lactancia, ha presentado resultados variables tanto para el rendimiento como para la concentración de proteína de la leche.

En una investigación con vacas primíparas en lactancia temprana alimentadas con dietas isonitrogenadas sobre la base de silo de maíz, Mäntysaari et al. (1989), reportaron que la harina de pescado incrementó el porcentaje de proteína de la leche respecto a las suplementadas con una mezcla de fuentes proteicas by pass, no mostrando diferencias cuando se la comparó con la harina de soja. Sin embargo, el rendimiento total de proteína no mostró diferencias y los mayores porcentajes se deberían posiblemente a un efecto de dilución, puesto que las vacas alimentadas con la mezcla de fuentes de RUP produjeron más leche que las de harina de pescado, aunque sin alcanzar la significancia estadística.

En una investigación llevada adelante por Burke et al. (1997), con 300 vacas Holando de diferente número de lactancia, se evaluó el efecto de la suplementación con harina de pescado sobre la performance productiva y reproductiva. Los resultados de la misma indican, que la inclusión de harina de pescado en la dieta, afectó el porcentaje y el rendimiento de proteína de la leche en ciertas lactancias. El porcentaje de proteína se incrementó para las vacas de cuarta lactancia, pero no en las siguientes. El rendimiento de proteína tendió a incrementarse para el conjunto de las lactancias, pero particularmente para las vacas de segunda lactancia.

Como ya fuera mencionado, en la bibliografía revisada se citan situaciones variables en cuanto a la respuesta en rendimiento y porcentaje de proteína en leche por la inclusión de harina de pescado en la dieta. La falta de respuesta se atribuye generalmente a que la dieta control no presentó limitantes en cuanto a la disponibilidad de energía y proteína (RDP y RUP), así como tampoco en el perfil de aminoácidos que llegan al duodeno (Blauwiel et al., 1990). En contraste, los incrementos en la síntesis de proteína de la leche serían atribuidos a una mayor disponibilidad y absorción de aminoácidos y a una mejora en el perfil que llega a duodeno (Hussein y Jordan, 1991; Atwal y Erfle, 1992; Akayezu et al., 1997; Santos et al., 1998).

Respecto a las fracciones nitrogenadas de la leche, la suplementación con harina de pescado ha presentado resultados variables.

Las vacas consumiendo una mezcla de fuentes proteicas lentamente degradables que incluían harina de pescado, presentaron menores concentraciones de proteína verdadera y mayores de nitrógeno no proteico que las alimentadas con fuentes de proteína rápidamente degradable (mezcla de harina de soja y harina de canola). Sin embargo las concentraciones de proteína cruda, caseína y proteínas del suero no fueron influenciadas por la fuente proteica (Khorasani et al., 1994). Del mismo modo, Roseler et al. (1993) citados por Khorasani et al. (1994) reportaron un incremento en el contenido de nitrógeno no proteico en la leche de vacas alimentadas con proteína by pass, sin observar cambios en las concentraciones de proteína cruda y proteína verdadera. Estos autores, sugirieron que el incremento en el contenido de nitrógeno no proteico fue el resultado de un incremento en la fracción urea. Datos que concuerdan con lo reportado por Broderick (1992) y Broderick (2000), quienes observaron incrementos significativos en la concentración de urea en leche por la inclusión de harina de pescado en la dieta.

En una investigación donde se evaluó el efecto de la inclusión de harina de pescado o harina de carne y hueso, sobre la producción y composición de la leche, Akayezu et al. (1997) reportaron un incremento en el contenido de proteína y una tendencia a aumentar el rendimiento de la misma, cuando se suministró el primero de los suplementos. El mayor contenido de proteína verdadera registrado por la suplementación con harina de pescado explicó el aumento en el contenido de proteína ya que el nitrógeno no proteico no fue afectado. O'Mara et al. (1998) comparando la harina de pescado con la harina de soja en dietas basadas en silo de pastura, encontraron que la suplementación con 7 kg de concentrado incluyendo harina de pescado (120g/kg), incrementó el rendimiento y la concentración de proteína respecto al control. Sin embargo no evidenciaron diferencias en cuanto al contenido de caseína de la leche. Del mismo modo, Calsamiglia et al. (1995) infundiendo harina de pescado en rumen o en duodeno, con dietas basadas en silo de maíz no encontraron efectos sobre las fracciones nitrogenadas de la leche, respecto al control de harina de soja infundida en rumen.

#### 2.3.2.2. Producción de grasa

La suplementación con harina de pescado con frecuencia reduce el porcentaje de grasa de la leche (Chmiel, 1987; Sloan et al., 1988; Blauwiel et al., 1989; Bruckental et al., 1989; Spain et al., 1989 citados por Hussein y Jordan, 1991).

Sin embargo, en la bibliografía se han reportado casos en los cuales no se evidenciaron efectos negativos sobre dicha variable (Gordon y Small, 1990 citados por Keady y Murphy, 1998; Carroll et al., 1994; Khorasani et al., 1996; Akayezu et al., 1997; Polan et al., 1997; Keady y Murphy, 1998; Schroeder y Gagliostro, 2000) ni sobre la producción diaria de grasa de la leche (Carroll et al., 1994; Akayezu et al., 1997).

A diferencia de esto, en el trabajo de Schroeder y Gagliostro (2000), se evidenció una tendencia a incrementar el rendimiento de grasa en leche por la suplementación con harina de pescado. Esta misma tendencia fue reportada previamente por Broderick (1992). Similares resultados obtuvieron Chiou et al. (1997), aunque señalan que la misma se explicaría por un efecto de concentración, debido a la menor producción de leche registrada en el tratamiento con harina de pescado.

En su amplia revisión Santos et al. (1998) concluyen que la disminución en el porcentaje de grasa de la leche fue más acentuada para la suplementación con harina de pescado que para otras fuentes de RUP. En 9 comparaciones entre la harina de pescado ó mezclas de suplementos proteicos que la incluían, con el gluten meal, el porcentaje de grasa de la leche fue más bajo para la mayoría de los tratamientos que la incluían. Similares resultados fueron reportados por Blauwiel et al. (1990).

Comparada con la harina de soja, la harina de pescado redujo significativamente el porcentaje de grasa de la leche en 16 de 28 comparaciones (Santos et al., 1998). Sin embargo, Atwal y Erfle (1992) reportaron incrementos en el porcentaje y rendimiento de grasa de la leche por la inclusión de harina de pescado en la dieta, respecto a la harina de soja. Estos resultados concuerdan con los reportados previamente por Oldham et al. (1985) citados por Blauwiel et al. (1990) y con los de Pabst et al. (1986) y DePeters et al. (1990) citados por Atwal y Erfle (1992).

La magnitud de los efectos negativos sobre el porcentaje y rendimiento de grasa de la leche, dependen del nivel de inclusión de harina de pescado en la dieta y más precisamente, del nivel de aceite no protegido presente en la misma (Cant et al., 1997 citados por Wright et al., 1999).

Los resultados de la investigación de Spain et al. (1995), indican que el porcentaje de grasa de la leche disminuyó en forma lineal, a medida que se incrementaba la cantidad de harina de pescado suplementada. Los niveles de inclusión utilizados en este ensayo fueron 2.6, 5.2 y 7.8% de la materia seca de la dieta, lo que equivalía a consumos totales de harina de pescado de 0.551, 1.045 y 1.521 kg/día.

Según Burke et al. (1997), los descensos en el contenido de grasa fueron más comunes cuando se utilizaron altos niveles de inclusión, con cantidades entre 1 y 2.6 kg/día. En tanto la suplementación con harina de pescado en cantidades menores a 0.75 kg/día, parece no tener efectos negativos. Bruckental et al. (1989) citados por Carroll et al. (1994) reportaron descensos en el contenido de grasa de la leche, por la inclusión de harina de pescado, en proporciones de 7.3% de la materia seca de la dieta. Sin embargo, Carroll et al. (1994) no encontraron efectos significativos sobre el porcentaje y rendimiento de grasa, con niveles de 3.5% de la materia seca de la dieta, representando un consumo de 0.718 kg/día.

Con dietas basadas en silo de maíz, en la bibliografía se mencionan descensos en el porcentaje y rendimiento de grasa de la leche, por la inclusión de harina de pescado en proporciones mayores a 6% de la materia seca de la dieta (Zerbini et al., 1988; Spain et al., 1990 y Wohlt et al., 1991 citados por Broderick, 1992). Sin embargo, Spain et al. (1990) citados por Broderick (1992) no evidenciaron efectos negativos con niveles de 2 y 4% de harina de pescado en la dieta.

La suplementación con harina de pescado en proporciones menores al 6% de la materia seca de la dieta, tampoco produjo efectos negativos sobre la síntesis de grasa de la leche en dietas basadas en silo de alfalfa (Broderick, 1992), en silo de trébol rojo (Broderick et al., 2000) o en heno de alfalfa (Broderick, 1995; Vagnoni y Broderick, 1997).

En cuanto al consumo de aceite de pescado, las recomendaciones actuales señalan que su inclusión en dietas para vacas lecheras no debe superar los 200 gramos por animal y por día para evitar los descensos en la grasa de la leche (Pike, 1999). Tanaka,(1970) citado por Mäntysaari et al. (1989) reportó que la suplementación con 150 g de aceite de hígado de bacalao, no tuvo efectos negativos sobre el contenido de grasa de la leche. Sin embargo, el suministro de 300 gramos por día, redujo significativamente dicha variable. Del mismo modo, Pennington y Davis (1975) citados por Spain et al. (1995) observaron descensos en el porcentaje de grasa de la leche por la infusión de 225 g del mismo aceite en rumen o en abomaso. A pesar de lo antes mencionado, consumos superiores a 100 gramos por día pueden provocar descensos en el contenido de grasa de la leche, como lo demuestran las investigaciones de Mäntysaari et al. (1989); Spain et al. (1990) y Wohlt et al. (1991) citados por Carroll et al. (1994) y Mansbridge y Blake (1996) citados por Pike (1999).

La reducción en la grasa de la leche asociada frecuentemente a la suplementación con harina de pescado, podría ser atribuida a los altos niveles de ácidos grasos de cadena larga poliinsaturados (PUFA) presentes en este suplemento (Hussein y Jordan, 1991). En la bibliografía se ha reportado que la presencia de grasa insaturada no protegida, puede reducir la grasa de la leche debido a sus efectos a nivel ruminal, sobre la relación de ácidos grasos volátiles (AGV) en el rumen y la síntesis microbiana de ácidos grasos (Storry, 1981 citado por Hussein y Jordan, 1991; Opsvedt, 1984 citado por Calsamiglia et al., 1995; Hoover et al., 1989; Calsamiglia et al., 1992 citados por Calsamiglia et al., 1995). También, se señalan efectos post ruminales, fundamentalmente reducciones en la absorción de ácidos grasos del plasma por la glándula mamaria (Storry, 1981 citado por Hussein y Jordan, 1991), inhibición de la lipasa lipoproteica (Storry et al., 1994 citados por Calsamiglia et al., 1995) y descensos en la actividad de la acetil-CoA carboxilasa, enzima clave en el proceso de síntesis de novo que ocurre en ese órgano (Storry et al., 1973 citados por Rearte, 1992; Mattos y Palmquist, 1974 citados por Mäntysaari et al., 1989).

Investigaciones in vitro (Hoover et al., 1989; Calsamiglia et al., 1992 citados por Calsamiglia et al., 1995) e in vivo (Opsvedt, 1984 citado por Calsamiglia et al., 1995) sugirieron, que la reducción en el contenido de grasa de la leche estuvo asociada a cambios en la relación acético/propiónico en el rumen.

Sin embargo, otra teoría fue sugerida para explicar dicha disminución, desestimando aquélla que atribuye éste efecto a las variaciones en los ácidos grasos volátiles en el rumen. Varman et al. (1968) citados por Spain et al. (1995) reportaron que la inclusión de grasa insaturada en las dietas de vacas lactando, redujo la concentración de acético en rumen y el porcentaje de grasa de la leche. Sin embargo, evidenciaron que las variaciones en los patrones de fermentación ruminal fueron pequeñas comparadas con las grandes disminuciones observadas en la grasa de la leche, sugiriendo entonces, que los PUFA que sobrepasan el rumen ocasionarían alteraciones en el metabolismo post ruminal. Esta teoría fue confirmada por diversas investigaciones, las cuales demostraron descensos en el porcentaje de grasa de la leche sin alteraciones en las concentraciones de ácidos grasos volátiles en rumen (Brumby et al., 1972; Storry et al., 1974 y Pennington y Davis, 1975 citados por Calsamiglia et al., 1995; Spain et al., 1989 citados por Hussein y Jordan, 1991; Spain et al., 1990 y Windschitl, 1991 citados por Calsamiglia et al., 1995).

Calsamiglia et al. (1995) evaluaron el efecto de la dosificación de harina de pescado en rumen ó en duodeno, sobre el contenido de grasa de la leche. En la misma se evidenciaron, reducciones en dicha variable sin registrar cambios en la relación acético + butírico/propiónico en el rumen. Los resultados de este experimento indican, que los efectos de la harina de pescado sobre la composición de la leche serían debidos a alteraciones post ruminales del metabolismo. Señalan además, que el mecanismo exacto para dicho efecto no esta claro, pero sugieren que podría deberse a alteraciones en el sistema endocrino, que resulten en cambios en la disponibilidad de glucosa y grasa para la glándula mamaria (Brumby et al., 1972; Storry et al., 1974; Pennington et al., 1975 citados por Calsamiglia et al., 1995), a cambios en los factores que regulan el mecanismo de síntesis de grasa de la leche (Selner et al., 1980 citados por Calsamiglia, 1995) ó a combinaciones de éstos con otros factores.

Spain et al. (1995) también evaluaron el efecto de la harina de pescado sobre el contenido de grasa de la leche y reportaron descensos lineales en el porcentaje de grasa, a medida que se incrementaba el consumo de harina de pescado desde 0 hasta 7.8% de la materia seca de la dieta. En este caso, tampoco se observaron variaciones significativas en las concentraciones de ácidos grasos volátiles en rumen, por lo que las reducciones en la grasa de la leche no podrían ser atribuidas a alteraciones en la fermentación ruminal, confirmando de esta manera la teoría de los efectos post ruminales.

Las variaciones en la grasa de la leche, principalmente las originadas por alteraciones de la dieta, suelen ir asociadas a modificaciones en la proporción relativa de

los ácidos grasos que la componen. Generalmente, todo descenso en el contenido graso de la leche provocado por cambios en la dieta, va acompañado de una mayor proporción de ácidos grasos de cadena larga insaturados, en detrimento de los de cadena corta saturados, sintetizados de novo en la glándula mamaria (Rearte, 1992).

Se han registrado descensos de los ácidos grasos de cadena corta e incrementos en los de cadena larga en la leche de vacas suplementadas con harina de pescado, sugiriendo que dicho suplemento inhibiría la síntesis de novo de ácidos grasos en la glándula mamaria (Zerbini et al., 1988 y Windschitl, 1991 citados por Calsamiglia et al., 1995), confirmando de esta forma lo reportado previamente por Storry et al. (1973) citados por Rearte (1992) y Mattos et al. (1974) citados por Mäntysaari et al. (1989), quienes comprobaron que los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga ejercen una inhibición sobre la actividad de la acetil-CoA carboxilasa. Sin embargo, Calsamiglia et al. (1995) no evidenciaron modificaciones en el perfil de ácidos grasos de leche por la infusión de harina de pescado en rumen ó en duodeno comparada con la infusión de harina de soja en rumen.

Los ácidos grasos de la leche, mayores de 16 átomos de carbono son absorbidos directamente desde la sangre, no siendo sintetizados en la glándula mamaria (Mansbridge y Blake, 1997 citados por Wright et al., 1998). Por lo tanto, cambios en las proporciones de estos ácidos grasos ( $>C_{16}$ ) en el perfil de la leche, reflejan variaciones en el suministro exógeno de ácidos grasos (Wright et al., 1998). La suplementación con harina de pescado en cantidades crecientes, provocó alteraciones en los perfiles de PUFA en plasma (Spain et al., 1995). Los niveles de los ácidos grasos insaturados  $C_{16:1 n 7}$ ,  $C_{18:3 n 3}$ ,  $C_{20:4 n 6}$ ,  $C_{20:5 n 3}$  y  $C_{22:6 n 3}$ , se incrementaron de forma lineal, a medida que aumentaba el consumo de harina de pescado. En contraste, los ácidos grasos  $C_{18:3 n 6}$  y  $C_{20:3 n 6}$ , disminuyeron de la misma forma. Los ácidos grasos saturados, conjuntamente con los  $C_{18:1 n 9}$  y  $C_{18:2 n 6}$ , no fueron alterados por la dieta. Del mismo modo, Wright et al. (1998) reportaron incrementos significativos en la concentración de los ácidos grasos de 20 ó más átomos de carbono, por la suplementación con cantidades crecientes de harina de pescado. Asimismo, evidenciaron incrementos de aproximadamente el doble, en las concentraciones de EPA ( $C_{20:5 n 3}$ ) y DHA ( $C_{22:6 n 3}$ ), a medida que se elevaba el nivel de suplementación.

Calsamiglia et al. (1995) mencionan que los ácidos grasos insaturados de la dieta normalmente son biohidrogenados por los microorganismos de rumen. Sin embargo, los ácidos EPA y DHA que se encuentran en el aceite de pescado parecen escapar a dicho efecto, quedando disponibles para la absorción (Ashes et al., 1992; Palmquist et al., 1994; Spain et al., 1995 citados por Burke et al., 1997).

### 2.3.3. Implicancias de los efectos en la composición sobre la salud humana

La grasa de la leche ha sido considerada causal de obesidad, sobrepeso y enfermedades coronarias en el ser humano, debido a su elevado contenido de ácidos grasos saturados (SFA) (Ney, 1991 citado por Carro, 2002<sup>5</sup>). Típicamente, la grasa láctea contiene 70% de ácidos grasos saturados, 25% de ácidos mono-insaturados (MUFA) y 5% de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) incluyendo los pertenecientes a la familia omega-3. Desde el punto de vista de la nutrición humana, la grasa láctea ideal debería presentar las siguientes proporciones de ácidos grasos: un mínimo de 10% de ácidos grasos poliinsaturados (incluyendo los omega-3), un máximo de 8% de ácidos grasos saturados y el resto, aproximadamente 82%, de ácidos grasos mono-insaturados (Grummer, 1991 citado por Carro, 2002<sup>5</sup>).

La grasa es el componente más variable de la leche, siendo el que más alteraciones de origen nutricional o de manejo puede presentar, tanto a nivel de la cantidad sintetizada como en su composición (Rearte, 1992). Diversas investigaciones, han demostrado que el perfil de ácidos grasos de la leche puede ser modificado por cambios en la dieta suministrada a los animales (Beaulieu y Palmquist, 1995 citados por Carro, 2002<sup>5</sup>; Wright et al., 1999; Pike, 1999). A pesar de esto, es difícil obtener proporciones de ácidos grasos cercanas a las de la grasa láctea ideal (Grummer, 1991 citado por Carro, 2002<sup>5</sup>).

Los cambios en el estilo de vida y el creciente desarrollo de las enfermedades relacionadas con los hábitos de alimentación, más precisamente con el consumo de grasas, han desencadenado una progresiva toma de conciencia en lo referente a que estos problemas pueden modificarse a través del consumo de alimentos conocidos como “funcionales”. En la última década, este término se ha utilizado para definir a aquellos alimentos que además de contribuir a las necesidades básicas, proveen beneficios adicionales al consumidor. Según Duncan (1998) citado por Carro (2002)<sup>5</sup>, un alimento se considera “funcional”, cuando se ha demostrado que su consumo afecta una o varias funciones relevantes del organismo, proporcionando un mejor estado de salud y calidad de vida y/o reduciendo el riesgo de desarrollo de enfermedades.

En la actualidad, el concepto de “calidad” de la leche es percibido por el consumidor, no sólo a través de la reducción de los componentes perjudiciales, sino además por el aporte de factores benéficos para la salud y el bienestar. En consecuencia, existe a nivel mundial, un creciente interés por manipular la composición de la leche, de forma tal de incrementar la relación proteína/grasa, la proporción total de ácidos grasos insaturados, o bien la de algunos en particular (Offer et al., 1999).

---

<sup>5</sup> Carro, Silvana. 2002. Producción de leche enriquecida con omega-3 (Comunicación personal).

En los últimos años, han trascendido considerablemente los efectos beneficiosos de los ácidos grasos omega-3 sobre la salud humana, particularmente respecto al sistema vascular, enfermedades del corazón, y a las respuestas inmunes e inflamatorias (Committee on the Medical Aspects of Food (COMA), 1994; Nettleton, 1994 citados por Offer et al., 1999). Según Jensen (1992) y Rodríguez-Rebollo (2000) citados por Carro (2002)<sup>5</sup>, los omega-3 contribuyen al desarrollo del sistema nervioso central de los neonatos, así como también al desarrollo del aparato visual. Investigaciones recientes, señalan que el consumo regular de ácidos grasos esenciales omega-3 y ácido oleico, promueve la formación de sustancias activas que pueden intervenir positivamente en la circulación sanguínea reduciendo el riesgo de arterioesclerosis. Simopoulos (1991) citado por Wright et al. (1999) menciona además un efecto antiarrítmico en adultos.

Del mismo modo, el ácido linoléico conjugado (CLA) presenta propiedades anticancerígenas (Ha et al., 1987; Ha et al., 1990; Ip et al., 1991; Parodi, 1997 citados por Dhiman et al., 2000) así como también mejora la función inmune y previene la diabetes (Belury, 1995; Parodi, 1997 citados por Abu-Ghazaleh et al., 2002). El término ácido linoléico conjugado, se refiere al conjunto de isómeros posicionales y geométricos del ácido linoléico (cis-9, cis-12 C<sub>18:2</sub>) con dobles enlaces conjugados (Abu-Ghazaleh et al., 2002). Estos son sintetizados por los microorganismos del rumen durante el proceso de biohidrogenación ó por la actividad de la enzima  $\Delta^9$ -desaturasa del ácido transvascénico (trans-11C<sub>18:1</sub>) en los tejidos (Griinari et al., 1999; Donovan et al., 2000 citados por Abu-Ghazaleh et al., 2002). El ácido linoléico conjugado aparece naturalmente en los alimentos, sin embargo la principal fuente de estos en la dieta humana son los productos lácteos y otros productos derivados de los rumiantes. Más del 82% de los CLA en los productos lácteos lo constituye el isómero cis-9, trans-11 del ácido linoléico (Chin et al., 1992 citado por Dhiman et al., 1999).

La leche y sus derivados presentan cantidades ínfimas de ácidos omega-3 (Moreno, 1998 citado por Carro, 2002<sup>5</sup>) por lo que existe un considerable interés en incrementar sus niveles en la leche. El aceite de pescado es una fuente rica de estos ácidos grasos, principalmente en EPA (C<sub>20:5</sub>) y DHA (C<sub>22:6</sub>). Diversas investigaciones han reportado que la suplementación con aceite ó harina de pescado incrementó los niveles de ácidos grasos omega-3 en la leche (Wright et al., 1999; Offer et al., 1999; Abu-Ghazaleh, 2001), así como también los de ácido linoléico conjugado (Abu-Ghazaleh et al., 2001, Abu-Ghazaleh et al., 2002).

Incrementando el contenido de estos ácidos grasos beneficiosos para la salud humana, se mejoraría el valor nutritivo y terapéutico de la leche. Además, la leche producto de variaciones en la alimentación animal, con mayores niveles de PUFA en la grasa, presentaría ventajas organolépticas (menor probabilidad de desarrollar rancidez) frente a aquella que es adicionada artificialmente en la industria, debido a que los PUFA dentro de los glóbulos grasos estarían protegidos contra la lipólisis (Alais, 1985).

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. UBICACION

El trabajo de campo se desarrolló en agosto de 2001, en la Unidad de lechería del Centro Regional Sur perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República.

El mismo se localiza entre las ciudades de Progreso y Joanico, sobre el camino Folhe, en el departamento de Canelones, Uruguay.

Los análisis de composición química de la leche fueron realizados a partir del mes de febrero de 2002, en el laboratorio de la Unidad de Tecnología de los Alimentos de la Facultad de Agronomía, Montevideo.

#### 3.2. ANIMALES Y SU MANEJO

En el ensayo se utilizaron seis vacas Holando multíparas, entre el tercer y cuarto mes de lactancia (66 a 115 días post parto); con una producción promedio al inicio del período experimental de 28.2 litros y  $552 \pm 51$  kg de peso vivo (promedio  $\pm$  SD). En el cuadro 17, se detallan las características de los animales utilizados.

**Cuadro 17:** Característica de los animales al inicio del experimento.

Vaca (N° Carav.)	Número de lactancias	Fecha último parto	Días de lactancia	Producción de leche (l)	Peso Vivo (kg)
41	3	22 may 2001	71	32.8	622
707	2	11 abr 2001	111	24.8	493
508	4	27 may 2001	66	27.2	562
428	5	25 may 2001	68	24.0	493
34	3	7 abr 2001	115	28.8	576
417	5	8 abr 2001	114	31.4	568

Las vacas fueron alojadas en jaulas de digestibilidad durante todo el período experimental y asignadas a los tratamientos de acuerdo al cuadro 19. Fueron ordeñadas dos veces por día, a las 5:00 y 16:00 horas y alimentadas con posterioridad a cada ordeño.

### 3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS

Los tratamientos evaluados consistieron en dos dietas isoenergéticas (1.70 Mcal ENI/kg MS) e isoproteicas (16% PB), que variaban en la fuente y en el contenido de RUP del suplemento. Las mismas se suministraron a razón de una cantidad equivalente al 4% (en MS) del peso vivo de los animales.

Las dietas basadas en silo de maíz, maíz molido, urea, bicarbonato de sodio y carbonato de calcio, variaban en la fuente proteica: expeller de girasol ó harina de pescado y en la degradabilidad ruminal del suplemento proteico, siendo alta para el expeller de girasol (16% de RUP) y baja para la harina de pescado (65% de RUP) (NRC, 2001).

Se utilizó un diseño de cuadrado latino de 2 x 2 replicado, con dos períodos (1 y 2) de 15 días cada uno, en donde se evaluaron los dos tratamientos. Cada período estuvo compuesto de una etapa de acostumbramiento y otra de mediciones (cuadro 18).

**Cuadro 18:** Duración de los períodos del experimento.

Período	Acostumbramiento	Mediciones
1	1 ago 2001 al 11 ago 2001	12 ago 2001 al 16 ago 2001
2	17 ago 2001 al 25 ago 2001	26 ago 2001 al 30 ago 2001

En el primer período, grupos de tres vacas fueron asignados a cada tratamiento, invirtiéndose el mismo en el segundo período. De esta forma cada animal fue testigo de sí mismo, en virtud de que las vacas que consumieron harina de pescado en el período 1, fueron suplementadas con expeller de girasol en el período 2 y viceversa. En el cuadro 19, se presenta la asignación de los animales según tratamiento y período.

**Cuadro 19:** Asignación de los animales según tratamiento y período.

Período	Tratamiento	Vaca (Nº Caravana)					
1	Expeller girasol	41	707	508			
	Harina de pescado				428	34	417
2	Expeller girasol				428	34	417
	Harina de pescado	41	707	508			

En el cuadro 20, se presenta la composición química de los alimentos utilizados en la formulación de la dieta. La misma se determinó en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Agronomía, Montevideo, según las técnicas que se detallan en el cuadro 21.

**Cuadro 20:** Composición química de los alimentos utilizados.

Fracciones	Silo de maíz		Maíz molido		Exp. de girasol		H. de pescado	
	P 1	P 2	P 1	P 2	P 1	P 2	P 1	P 2
MS <sup>1</sup>	0.195	0.225	0.918	0.943	0.936	0.929	0.932	0.946
C <sup>2</sup>	0.072	0.078	0.035	0.017	0.069	0.073	0.135	0.171
MO <sup>2</sup>	0.928	0.922	0.965	0.983	0.931	0.927	0.865	0.829
PC <sup>2</sup>	0.075	0.069	0.104	0.104	0.398	0.398	0.761	0.717
FDN <sup>2</sup>	0.595	0.593	0.182	0.181	0.400	0.399	-	-
FDA <sup>2</sup>	0.336	0.340	0.045	0.047	0.242	0.247	-	-
LDA <sup>2</sup>	0.023	0.017	0.006	0.007	0.059	0.061	-	-

(1) MS en kg/kg de MF calculada a 105°C

(2) Fracciones expresadas como proporción de la MS calculada a 105 °C

**Cuadro 21:** Técnicas utilizadas para la determinación de la composición de los alimentos.

Fracciones	Técnica empleada
Msa	AOAC (1984)
MO	AOAC (1984)
FDN	Goering y Van Soest (1970)
FDA	Goering y Van Soest (1970)
N	Kjeldahl (AOAC 1990)
FC	AOAC (1984)

Como ya fuera mencionado, la dieta se suministró dos veces por día, en la mañana y en la tarde; de acuerdo al siguiente protocolo: se pesó cada componente por separado, para su mezcla posterior con el silo de maíz recién extraído, constituyendo la ración mezcla total. En el cuadro 22, se presentan los componentes de la dieta para cada tratamiento y sus proporciones con respecto a la materia seca total ofrecida. Asimismo, se detalla la composición promedio de la dieta para cada período.

**Cuadro 22:** Componentes de la dieta expresados en kg y % de la MS ofrecida.

Componentes	Tratamiento				Período			
	Exp. de girasol		H. de pescado		P 1		P 2	
	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)
<b>Silo de maíz</b>	6.429	31.56	7.304	36.15	6.483	32.41	7.249	35.25
<b>Maíz molido</b>	9.660	47.43	9.962	49.30	9.874	49.36	9.748	47.39
<b>Exp. girasol</b>	3.630	17.82	1.249	6.18	2.480	12.40	2.398	11.66
<b>H. pescado</b>	0.000	0.00	1.016	5.03	0.502	2.51	0.515	2.50
<b>Urea</b>	0.207	1.01	0.212	1.05	0.213	1.06	0.205	1.00
<b>NaHCO<sub>3</sub></b>	0.222	1.09	0.215	1.06	0.218	1.09	0.218	1.06
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	0.222	1.09	0.248	1.23	0.235	1.17	0.235	1.14
<b>TOTAL</b>	20.368	100	20.206	100	20.006	100	20.568	100

En el cuadro 23, se observa la composición química de la dieta suministrada, según los resultados de los análisis realizados utilizando las técnicas mencionadas en el cuadro 21.

**Cuadro 23:** Composición química de la dieta ofrecida.

Componentes	Tratamiento				Período			
	Exp. de girasol		H. de pescado		P 1		P 2	
	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)
<b>MS<sup>1</sup></b>	20.368	47.6	20.206	44.6	20.006	45.4	20.568	46.7
<b>MS<sup>2</sup></b>	18.749	92.1	18.562	91.8	18.187	90.9	19.124	93.0
<b>C<sup>3</sup></b>	1.345	7.2	1.418	7.6	1.399	7.7	1.364	7.1
<b>MO<sup>3</sup></b>	17.404	92.8	17.144	92.4	16.788	92.3	17.760	92.9
<b>PC<sup>3</sup></b>	3.267	17.4	3.149	17.0	3.221	17.7	3.196	16.7
<b>FDN<sup>3</sup></b>	5.313	34.1	4.972	32.4	4.921	32.7	5.364	33.7
<b>FDA<sup>3</sup></b>	3.183	17.0	2.903	15.6	2.882	15.8	3.204	16.8
<b>LDA<sup>3</sup></b>	0.492	2.6	0.258	1.4	0.440	2.3	0.309	1.6

(1) MS en kg/kg de MF calculada a 60 °C

(2) MS en kg/kg de MF calculada a 105 °C

(3) Fracciones expresadas en kg/kg de MS calculada a 105 °C

### 3.4. DETERMINACIONES

#### 3.4.1. Producción de leche

En cada período experimental se registró la producción individual de los animales durante cinco días, en dos ordeños diarios (5:00 y 16:00 horas).

#### 3.4.2. Composición de la leche

Seguido al registro de producción, se tomaron muestras individuales de leche los días 2 y 4 de cada período de medición, para su posterior análisis de composición química. Las mismas, estaban compuestas por la alícuota correspondiente al ordeño de la mañana y al ordeño de la tarde. Luego de extraídas, las muestras se congelaron a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta su análisis. Previo al mismo, las muestras fueron descongeladas en un baño de agua a  $35\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

En cuanto a la composición química, se realizaron análisis del contenido graso y de las fracciones nitrogenadas de la leche.

##### 3.4.2.1. Determinación del contenido graso de la leche

Para la determinación del contenido graso de la leche, se utilizó el método de Gerber. El fundamento del mismo, se basa en la destrucción de las proteínas de la leche por la adición de ácido sulfúrico (90%), en un tubo graduado especial (butirómetro de Gerber). La grasa de la leche es separada posteriormente por centrifugación, proceso que es facilitado por el agregado de alcohol iso-amílico. El contenido de grasa se obtiene por lectura directa de la escala del butirómetro y se expresa en gramos de grasa en 100 ml (Pearson, 1986). La técnica empleada se describe en el Anexo I.

##### 3.4.2.2. Determinación de las fracciones nitrogenadas de la leche

En lo referente a las fracciones nitrogenadas de la leche se procedió a la determinación analítica del contenido de nitrógeno total (N Total), nitrógeno no proteico (NNP) y nitrógeno no caseínico (NNC). El método de referencia utilizado para la determinación del contenido de nitrógeno fue Kjeldahl (AOAC, 1995)

El contenido de N Total, se determinó según Kjeldahl (AOAC, 1995) y se expresa como porcentaje en peso de nitrógeno total contenido en la muestra. Mediante la multiplicación de este resultado por el factor 6.38 (específico para la leche) se obtiene el contenido de proteína bruta (PB) expresado como porcentaje del peso de la muestra (g/100 g).

El contenido de NNP, se determinó mediante la precipitación de las proteínas de la leche por la adición de ácido tricloroacético (TCA) al 15% (peso/volumen), de forma tal que la concentración final de ácido en la mezcla sea de aproximadamente 12%. Posteriormente las proteínas precipitadas se filtran, quedando en el filtrado el NNP (Molina et al., 1993). Sobre éste, se determina la cantidad de nitrógeno según Kjeldahl (AOAC, 1995). La técnica utilizada se describe en el Anexo II.

El contenido de NNC, se determinó mediante la precipitación de las caseínas y materias grasas a pH 4.6 con el par buffer ácido acético-acetato de sodio. Posteriormente las caseínas precipitadas se filtran, quedando en el filtrado el NNC (Molina et al., 1993). Sobre éste, se determina la cantidad de nitrógeno según Kjeldahl (AOAC, 1995). La técnica utilizada se describe en el Anexo III.

#### 3.4.3. Evaluación sensorial de la leche

Se realizó un análisis sensorial de la leche utilizando la prueba de comparación por pares (Pedrero y Pangborn, 1989). El objetivo de la misma fue determinar si existían diferencias en las características organolépticas (principalmente sabor), entre las leches correspondientes a los dos tratamientos del experimento (expeller de girasol y harina de pescado). Para esto se suministró, tres pares de muestras de leche cruda por juez. La ejecución de la prueba se llevó a cabo requiriendo que el juez determine si el par es diferente o igual entre sí, por lo que pueden haber aleatoriamente muestras iguales dentro del par. Esta evaluación fue realizada para cada período, utilizando en el primero un panel con 14 jueces y en el segundo uno con 13 jueces. En el Anexo IV se presenta la hoja de respuesta utilizada en esta evaluación.

#### 3.4.4. Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental de cuadrado latino de 2 x 2 replicado. El modelo para el análisis de varianza fue:

$$X_{ijk} = \mu + T_i + P_j + A_k + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:  $\mu$  = media poblacional,  
T = efecto tratamiento,  
P = efecto período,  
A = efecto animal,  
 $\varepsilon$  = error experimental.

Los parámetros de producción y composición de la leche, grasa y fracciones nitrogenadas, fueron evaluados estadísticamente a través de un análisis de varianza

utilizando SAS® (1989). El test de comparación de medias utilizado en los dos tratamientos y en ambos períodos, fue el de diferencia mínima significativa.

En la evaluación sensorial, la probabilidad de escoger la respuesta correcta sólo por azar es de 50% ( $p = \frac{1}{2}$  ó 0.5). En consecuencia, si el valor del total de respuestas correctas excede el 50%, se concluye que las muestras son diferentes entre sí para la variable evaluada (sabor, en este experimento). A fin de determinar si la diferencia fue significativa, primero se especificó el nivel de significancia, que en este estudio fue del 5%, para después comparar los resultados obtenidos con los valores de tablas estadísticas de dos colas, utilizando para este experimento la tabla que se presenta en el Anexo V. Para el cálculo del porcentaje de respuestas correctas se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de respuestas correctas} = \frac{\sum t}{N} \times 100$$

Dónde:  $\sum t$  = total de respuestas correctas,  
N = total de juicios = (n) x (r),  
n = número total de jueces,  
r = número de repeticiones por juez.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. PRODUCCION DE LECHE

En el cuadro 24 se presentan los resultados de producción de leche para los tratamientos y períodos.

**Cuadro 24:** Producción diaria de leche.

Variable	Tratamiento		P <...	Período		P <...
	Expeller de girasol	Harina de pescado		P 1	P 2	
<b>Prod. leche (l)</b>	27.30	26.02	0.1906	26.55	26.77	0.7960

Como puede apreciarse en el cuadro 24, no hubo respuestas significativas en producción de leche, entre los tratamientos de expeller de girasol y harina de pescado ( $P < 0.1906$ ), así como tampoco se registraron diferencias significativas entre períodos para esta variable ( $P < 0.7960$ ).

### 4.2. COMPOSICION DE LA LECHE

#### 4.2.1. Contenido y producción de materia grasa

La producción de leche corregida en grasa (LCG), así como el contenido y la producción diaria de la misma se presentan en el cuadro 25.

**Cuadro 25:** Contenido y producción de materia grasa

Variable	Tratamiento		P <...	Período		P <...
	Expeller de girasol	Harina de pescado		P 1	P 2	
<b>Prod. LCG (l) <sup>1</sup></b>	23.96	20.63	0.0963	22.81	21.78	0.5396
<b>Grasa (g/l)</b>	31.33	26.82	0.0398	30.08	28.07	0.2516
<b>Grasa (g/día)</b>	861.30	687.00	0.0679	805.85	742.48	0.4176

(1) LCG al 4% calculado según la ecuación de Gaines (1923).

$$\text{LCG} = \text{Prod. Leche} \times [0.4 + 0.15 (\% \text{ Grasa})]$$

Como se aprecia en el cuadro 25, la suplementación con harina de pescado, redujo significativamente ( $P < 0.0398$ ) la concentración de grasa de la leche, respecto al

tratamiento con expeller de girasol, de 31.33 a 26.82 g/l. La producción diaria de grasa no fue diferente en términos estadísticos entre tratamientos ( $P < 0.0679$ ), con valores promedio de 861.30 y 687.00 g/día para el de expeller de girasol y harina de pescado respectivamente. La producción de LCG al 4% tampoco alcanzó la significancia estadística ( $P < 0.0963$ ) con una producción 3.33 litros de LCG menor para el tratamiento con harina de pescado.

Entre períodos, no se evidenciaron diferencias significativas, para el contenido ( $P < 0.2516$ ), la producción diaria de grasa de la leche ( $P < 0.4176$ ) y para la LCG al 4% ( $P < 0.5396$ ).

#### 4.2.2. Fracciones nitrogenadas

En el cuadro 26 se presentan los contenidos de las fracciones nitrogenadas de la leche, en el cuadro 27 la producción diaria y en el cuadro 28 las relaciones entre las mismas.

**Cuadro 26:** Fracciones nitrogenadas de la leche, expresadas en g/l.

Variable (g/l)	Tratamiento		P <...	Período		P <...
	Expeller de girasol	Harina de pescado		P 1	P 2	
<b>N total</b>	4.90	4.73	0.3383	4.74	4.89	0.3831
<b>PC<sup>1</sup></b>	31.27	30.20	0.3383	30.26	31.22	0.3831
<b>NNC</b>	1.04	1.05	0.8478	0.92	1.17	0.0075
<b>NC<sup>2</sup></b>	3.86	3.68	0.3704	3.82	3.72	0.6150
<b>NNP</b>	0.30	0.34	0.2047	0.27	0.37	0.0137
<b>P verdadera<sup>3</sup></b>	29.33	28.03	0.2869	28.52	28.84	0.7832

(1) PC = Proteína cruda, calculada como  $N \text{ total} \times 6.38$ .

(2) NC = Nitrógeno caseínico, calculado como  $N \text{ total} - \text{NNC}$ .

(3) Proteína verdadera, calculada como  $(N \text{ total} - \text{NNP}) \times 6.38$ .

Como se aprecia en el cuadro 26, no se obtuvieron diferencias significativas en ninguna de las fracciones nitrogenadas entre los tratamientos de expeller de girasol y harina de pescado.

El contenido de PC presentó valores de 31.27 y 30.20 g/l respectivamente ( $P < 0.3383$ ). La proteína verdadera fue de 29.33 g/l para el tratamiento de expeller de

girasol y de 28.03 g/l para el de harina de pescado ( $P < 0.2869$ ). El contenido de NNC para los tratamientos fue de 1.04 y 1.05 g/l en el mismo orden ( $P < 0.8478$ ). Igualmente, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para el NC y el NNP ( $P < 0.3704$ ) y ( $P < 0.2047$ ) respectivamente.

De las fracciones nitrogenadas analizadas, solamente se registraron diferencias significativas entre períodos en NNC y NNP. En el caso del NNC los valores fueron de 0.92 g/l para el período 1 y 1.17 g/l para el período 2 ( $P < 0.0075$ ). El NNP presentó un contenido 0.10 g/l mayor en el período 2 ( $P < 0.0137$ ).

**Cuadro 27:** Fracciones nitrogenadas de la leche, expresadas en g/día

Variable (g/día)	Tratamiento		P <...	Período		P <...
	Expeller de girasol	Harina de pescado		P 1	P 2	
<b>N total</b>	132.78	118.95	0.1451	118.06	132.67	0.1500
<b>PC <sup>1</sup></b>	847.16	758.91	0.1451	759.61	846.46	0.1500
<b>NNC</b>	28.45	26.52	0.4340	23.36	31.61	0.0207
<b>NC <sup>2</sup></b>	104.33	92.43	0.1395	95.70	101.06	0.4538
<b>NNP</b>	8.14	8.56	0.2010	6.80	9.90	0.0020
<b>P verdadera <sup>3</sup></b>	795.23	704.32	0.1420	716.25	783.31	0.2494

(1) PC = Proteína cruda, calculada como N total  $\times$  6.38

(2) NC = Nitrógeno caseínico, calculado como N total – NNC.

(3) Proteína verdadera, calculada como (N total – NNP)  $\times$  6.38

No se encontraron diferencias significativas para ninguna de las fracciones nitrogenadas evaluadas, entre los tratamientos de expeller de girasol y harina de pescado.

La producción de PC fue 88.25 g/día mayor para el tratamiento de expeller de girasol ( $P < 0.1451$ ). La proteína verdadera presentó valores de 795.23 g/día para el tratamiento de expeller de girasol y de 704.32 g/día para el de harina de pescado ( $P < 0.1420$ ). La producción de NNC para los tratamientos fue de 28.45 y 26.52 g/día respectivamente ( $P < 0.4340$ ). En cuanto al NC y al NNP, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0.1395$ ) y ( $P < 0.2010$ ).

Entre períodos, se registraron diferencias significativas únicamente para el NNC ( $P < 0.0207$ ) y el NNP ( $P < 0.0020$ ). Para el primero, los valores fueron de 23.36 y 31.61

g/día para el período 1 y 2, en tanto para el NNP los mismos fueron de 6.80 y 9.90 g/día respectivamente.

**Cuadro 28:** Relaciones entre las fracciones nitrogenadas de la leche, expresadas en porcentaje.

Variable	Tratamiento		P <...	Período		P <...
	Expeller de girasol	Harina de pescado		P 1	P 2	
NC/N total	78.67	77.78	0.5432	80.38	76.07	0.0316
NC/NP <sup>1</sup>	83.88	83.92	0.9818	85.32	82.48	0.1086
NNP/N total	6.27	7.23	0.2036	5.80	7.70	0.0406

(1) NP = Nitrógeno proteico, calculado como N total – NNP.

Las relaciones entre las fracciones nitrogenadas analizadas: NC/N total, NC/NP y NNP/N total, no presentaron diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0.5432$ ), ( $P < 0.9818$ ) y ( $P < 0.2036$ ) respectivamente.

Entre períodos, no se observaron diferencias significativas ( $P < 0.1086$ ) para la relación NC/NP. Sin embargo, para NC/N total y NNP/N total las diferencias fueron significativas ( $P < 0.0316$ ) y ( $P < 0.0406$ ). La relación NC/N total fue 4.31% mayor para el período 1, mientras que la relación NNP/N total fue 1.9% mayor para el período 2.

#### 4.3. EVALUACION SENSORIAL

En el cuadro 29 se presentan los resultados de la evaluación sensorial realizada entre las leches correspondientes a los tratamientos de expeller de girasol y harina de pescado.

**Cuadro 29:** Resultado del análisis sensorial.

Período	Nº total de juicios	Nº total de juicios correctos	Respuestas correctas (%)	Nº juicios mínimos correctos para $P < 0.05$
1	42	24	57.1	28
2	39	23	59.0	27

Como puede apreciarse en el cuadro 29, no se registraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre las leches evaluadas. Para el período 1, en un total de 42

evaluaciones 24 fueron correctas, no alcanzando la significancia estadística en virtud de que eran necesarios 28 juicios correctos. Para el período 2, las respuestas correctas fueron 23 en un total de 39, siendo necesarios para alcanzar la significancia estadística 27 juicios correctos.

## 5. DISCUSION

Es necesario destacar que el presente trabajo, se complementa con el desarrollado por Olivera et al. (2003), quienes evaluaron el efecto de la inclusión de harina de pescado en dietas basadas en silo de maíz sobre el consumo y la digestibilidad. En consecuencia, los valores que refieren a esas variables fueron extraídos de la misma. En el Anexo VI se presentan los resultados de digestibilidad, consumo, rechazo, producción y composición de la leche.

### 5.1. PRODUCCION DE LECHE

Del procesamiento estadístico de los datos, surge que no existieron diferencias significativas ( $P < 0.1906$ ) en la producción de leche, entre los tratamientos de expeller de girasol y harina de pescado, con valores promedios de 27.30 y 26.02 litros por día respectivamente.

Esto podría explicarse por un consumo similar de materia orgánica digestible entre tratamientos ( $P < 0.6874$ ) y por lo tanto de energía (Olivera et al., 2003). Los resultados de la investigación de Cunningham et al. (1996), reportaron que los mayores consumos de materia orgánica parecieron mejorar el status energético de las vacas y de esta forma explicarían el mayor rendimiento en leche.

En el trabajo de Olivera et al. (2003), se observaron diferencias significativas entre tratamientos en el consumo de materia seca (CMS) ( $P < 0.0166$ ) y en el consumo de materia orgánica (CMO) ( $P < 0.0117$ ), con mayores registros para la dieta de expeller de girasol. Si bien estas diferencias fueron de 0.98 kg para CMS y 0.99 kg para CMO, las mayores digestibilidades registradas para estas fracciones en el tratamiento con harina de pescado compensaron las diferencias, traduciéndose en CMOD similares para ambos tratamientos. Las menores digestibilidades observadas para el tratamiento de expeller de girasol estarían explicadas por la baja calidad de la fibra de este alimento, representadas por una elevada proporción de cubiertas seminales, como consecuencia del procesamiento mecánico para la extracción del aceite.

Reducciones en el CMS han sido reportadas frecuentemente por la inclusión de harina de pescado en proporciones mayores a 6.5% de la materia seca de la dieta (Atwal y Erfle, 1992; Bruckental et al., 1989 citados por Carroll et al., 1994). Sin embargo, Santos et al. (1998), reportaron que la harina de salmón provocó descensos en el CMS cuando fue suplementada en niveles mayores al 5%. En el presente trabajo, se registró un descenso significativo ( $P < 0.0166$ ) en el CMS con niveles de inclusión cercanos al 5%. Estos datos no concuerdan con los reportados por Oldham et al. (1985) citados por Mäntysaari et al. (1989), quienes evidenciaron descensos en el CMS por la suplementación con harina de pescado a niveles de 8%, pero no cuando se la incluyó a razón del 5% de la MS de la dieta.

Este efecto probablemente estaría explicado por problemas de palatabilidad, en virtud del mayor rechazo de MS ( $P < 0.0288$ ) observado en el tratamiento de harina de pescado (1.12 kg de MS) en comparación con el de expeller de girasol (0.13 kg de MS). Según Rearte (1992), los suplementos de baja degradabilidad, especialmente las harinas de origen animal presentan como principal problema su baja palatabilidad, lo que limita la cantidad a incluir en la dieta. Problemas de palatabilidad han sido reportados previamente por la inclusión de harina de pescado en la dieta de vacas lecheras (Nicholson y Sutton, 1971 citados por Mäntysaari et al., 1989). Los resultados de la investigación de Bowers et al. (1965) citados por Blauwiel et al. (1990) indican que la harina de pescado afectó la palatabilidad de la dieta y consecuentemente el CMS. Según Mäntysaari et al. (1989), estos problemas podrían deberse a un “sabor a pescado” en el alimento, aún cuando el olor a pescado en la ración difícilmente fue reconocido por los humanos.

Santos et al. (1998), atribuyen los efectos negativos de la harina de salmón sobre el consumo, a su elevado contenido de grasa insaturada. Según los datos presentados en el cuadro 1, el contenido de grasa del salmón es de 14%, en tanto el de la merluza es de 0.5% según el Instituto de Investigaciones Pesqueras de Uruguay. A pesar de estas diferencias en el contenido graso, observando los perfiles de ácidos grasos presentados en el cuadro 3, se evidencia que la merluza contiene elevadas proporciones de ácidos grasos insaturados próximas al 70%. Si bien estos valores no son de la magnitud de los encontrados para el salmón (85%), los mismos son elevados y podrían contribuir a explicar los efectos negativos sobre el consumo encontrados en este trabajo.

Una hipótesis manejada es que la harina de pescado utilizada en este estudio podría presentar elevados contenidos de extracto etéreo (EE) y consecuentemente determinar un mayor aporte de grasa insaturada. Sin embargo, no fue posible determinar el contenido de esta fracción en la harina de pescado utilizada. Según los parámetros de calidad establecidos por Fripur, la harina de pescado presenta un máximo de 8% de EE. Asumiendo estos valores, el suministro de aceite de pescado en este trabajo fue como máximo de 80 g/día. Mäntysaari et al. (1989), trabajando con dietas basadas en silo de maíz, no evidenciaron descensos en el consumo de MS suministrando 1.1 kg/día de harina de pescado con 14.5% de EE, equivalente a un consumo diario de 159 g de aceite de pescado. Si bien esta hipótesis contribuiría a explicar los resultados obtenidos, difícilmente pueda ser la única causa en virtud de los numerosos factores que afectan el consumo de los animales.

Tampoco se registraron diferencias significativas en producción de leche entre períodos ( $P < 0.7960$ ), con promedios de producción de 26.55 y 26.77 litros por día para el período 1 y 2 respectivamente.

Es necesario destacar que el silo de maíz utilizado en el período 2, presentó mejor calidad que el suministrado en el período 1, con menor contenido de pared celular

(FDN) y menor contenido de lignina, valorada en la fracción lignina detergente ácido (LDA), como se evidencia en el cuadro 20. La mejor calidad del silo suministrado en el período 2, explicaría los mayores CMS ( $P<0.0121$ ) y CMO ( $P<0.0081$ ), así como también las mayores digestibilidades de estas fracciones registradas para este período.

A pesar de la amplia diferencia observada entre períodos ( $P<0.0004$ ) en el CMOD, equivalente a 1.19 kg/día mayor para el período 2, las vacas utilizadas en este ensayo no respondieron a ese mayor suministro de energía con incrementos en la producción de leche. No está claro el por qué de esta respuesta, pero entre las hipótesis manejadas se encuentra, una mayor partición de la energía hacia otras funciones metabólicas, como podría ser la ganancia de peso, aspecto que no fue evaluado en este ensayo. Vale la pena resaltar además, que las vacas utilizadas en este trabajo tampoco respondieron en términos de producción de leche, a dietas que estaban formuladas para una producción de 35 l/día (NRC, 1989). Esto confirmaría la hipótesis manejada respecto a que los animales presentaron una partición de nutrientes desplazada hacia otras funciones más que hacia la producción de leche.

A modo de resumen, podría decirse que la suplementación con harina de pescado, en este trabajo, no presentó ventajas en términos de producción de leche sobre la suplementación con expeller de girasol. Estos datos confirman los reportados previamente por Orskov et al. (1981); Chmiel (1987); Sloan et al. (1988); Zerbini et al. (1988) y McCarthy et al. (1989) citados por Hussein y Jordan, (1991); Mäntysaari et al. (1989); Calsamiglia et al. (1995); Polan et al. (1997), quienes no observaron ventajas de la suplementación con harina de pescado, respecto a dietas suplementadas con fuentes proteicas más degradables. Sin embargo, son contradictorios con los resultados de los trabajos de Broderick (1992); Atwal y Erfle (1992); Van Horn y Harris (1993) citados por Polan et al. (1997); Carroll et al. (1994); O'Mara et al. (1998); Schroeder y Gagliostro (2000).

## 5.2. COMPOSICION DE LA LECHE

### 5.2.1. Contenido y producción de materia grasa

De todas las variables analizadas en este trabajo, el contenido de grasa de la leche fue la más afectada por los tratamientos. La suplementación con harina de pescado, redujo significativamente ( $P<0.0398$ ) el contenido de grasa de la leche respecto al tratamiento con expeller de girasol de 31.33 a 26.82 g/l. La producción diaria de grasa no fue diferente en términos estadísticos entre tratamientos ( $P<0.0679$ ); sin embargo presentó una tendencia decreciente, con valores promedio de 861.30 y 687.00 g/día para el de expeller de girasol y harina de pescado respectivamente. Esta tendencia observada para el tratamiento con harina de pescado, determinó que la producción de LCG al 4% no alcanzara la significancia estadística ( $P<0.0963$ ) con una producción 3.33 litros de LCG menor para el tratamiento con harina de pescado respecto al de expeller de girasol.

Los resultados observados en este trabajo, podrían explicarse por el elevado consumo de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, determinado por la suplementación con harina de pescado; del mismo modo que lo señalan Hussein y Jordan (1991) en su revisión.

Los efectos negativos de la grasa insaturada sobre el contenido y la producción de grasa de la leche, podrían ser explicados a través de dos teorías. Una, sugiere que la presencia de grasa insaturada no protegida, podría reducir la grasa de la leche debido a sus efectos a nivel ruminal, sobre la relación de AGV y la síntesis microbiana de ácidos grasos (Storry, 1981 citado por Hussein y Jordan, 1991; Opsvedt, 1984 citado por Calsamiglia et al., 1995; Hoover et al., 1989; Calsamiglia et al., 1992 citados por Calsamiglia et al., 1995). La otra, alude a efectos post ruminales, fundamentalmente a una reducción en la absorción de ácidos grasos del plasma por la glándula mamaria (Storry, 1981 citado por Hussein y Jordan, 1991), a una inhibición de la lipasa lipoproteica (Storry et al., 1974 citados por Calsamiglia et al., 1995) y a descensos en la actividad de la acetil-CoA carboxilasa, enzima clave en el proceso de síntesis de novo que ocurre en ese órgano (Storry et al., 1973 citado por Rearte, 1992; Mattos y Palmquist, 1974 citados por Mäntysaari et al., 1989).

Como ya fuera mencionado, diversas investigaciones confirman variaciones en la relación de AGV en el rumen, con descensos en las concentraciones de los ácidos grasos lipogénicos (acético y butírico), por la inclusión de harina de pescado en la dieta. Si bien en éste trabajo no se realizaron mediciones de los parámetros de fermentación ruminal, las mayores digestibilidades de la fibra registradas por Olivera et al. (2003) en el tratamiento con harina de pescado, indicarían la ausencia de efectos negativos sobre aquéllas variables; o bien, que en caso de haberse producido, las mismas serían de pequeña magnitud como para explicar el amplio descenso evidenciado en el contenido y producción de grasa de la leche. Datos que concuerdan con lo reportado por Varman et al. (1968) citados por Spain et al. (1995). De este modo, la teoría que atribuye los descensos en la síntesis de grasa de la leche a los cambios provocados en la fermentación ruminal por la grasa insaturada, no contribuiría en gran medida a explicar las reducciones evidenciadas en este trabajo.

En consecuencia de lo antes mencionado, la teoría que atribuye las disminuciones en la síntesis de grasa de la leche a los efectos sobre el metabolismo post ruminal, explicaría principalmente los resultados encontrados en este trabajo. Estos efectos serían provocados por los ácidos grasos poliinsaturados que sobrepasan el rumen; tal como lo señalan Calsamiglia et al. (1995) y Spain et al. (1995), quienes observaron descensos significativos en el contenido de grasa de la leche sin variaciones en las concentraciones de AGV en el rumen.

No está claro el mecanismo exacto mediante el cual los ácidos grasos insaturados provocan disminuciones en la síntesis de grasa de la leche, sin embargo podrían estar

involucradas, alteraciones en el sistema endocrino que resulten en cambios en la disponibilidad de glucosa y grasa para la glándula mamaria (Brumbi et al., 1972; Storry et al., 1974 y Pennington y Davis, 1975 citados por Calsamiglia et al., 1995), cambios en los factores que regulan el mecanismo de síntesis de grasa de la leche (Calsamiglia et al., 1995), ó combinaciones de estos con otros factores (Calsamiglia et al., 1995).

Las variaciones en la grasa de la leche, principalmente las originadas por alteraciones de la dieta, suelen asociarse a modificaciones en su perfil de ácidos grasos (Rearte, 1992).

En este trabajo no fue posible determinar las concentraciones de los distintos ácidos grasos de la leche, lo que impediría establecer relaciones entre estos y consecuentemente evidenciar los cambios relativos ocasionados por la suplementación con harina de pescado. Si bien no hay datos concretos que permitan confirmar lo antes mencionado, generalmente, todo descenso en el contenido graso de la leche provocado por variaciones en la dieta, va acompañado de un incremento en las concentraciones de ácidos grasos insaturados de cadena larga, en detrimento de los de cadena corta y media saturados, sintetizados de novo en la glándula mamaria (Rearte, 1992).

Diversas investigaciones han confirmado descensos en los ácidos grasos de cadena corta e incrementos en los de cadena larga poliinsaturados, por la suplementación con harina de pescado (Storry et al., 1973 citados por Rearte, 1992; Mattos et al., 1974 citados por Mäntysaari et al., 1989; Zerbini et al, 1988 y Windschitl, 1991 citados por Calsamiglia et al., 1995; Spain et al., 1995; Wright et al., 1998). Los resultados de la investigación de Spain et al.(1995), indican que la suplementación con harina de pescado en cantidades crecientes, provocó incrementos lineales en las concentraciones de los ácidos grasos insaturados  $C_{16:1}$  n7,  $C_{18:3}$  n3,  $C_{20:4}$  n6,  $C_{20:5}$  n3 y  $C_{22:6}$  n3. Del mismo modo Wright et al. (1998) reportó que los niveles de EPA ( $C_{20:5}$  n3) y DHA ( $C_{22:6}$  n3) en la leche, se duplicaron a medida que se incrementaba la suplementación. Vale la pena resaltar que en todos estos trabajos se registraron descensos en la síntesis de grasa de la leche por la inclusión de harina de pescado en la dieta.

Basados en lo antes mencionado y considerando los descensos en el contenido de grasa de la leche registrados, podría presumirse que la suplementación con harina de pescado en este trabajo, provocó variaciones en el perfil de ácidos grasos de la leche; con incrementos en la proporción de los ácidos grasos insaturados de cadena larga en detrimento de los de cadena corta y media sintetizados de novo. Sin embargo, más investigaciones serían necesarias para confirmar estos datos en virtud de que Calsamiglia et al. (1995) evidenciaron descensos significativos en la grasa de la leche, sin variaciones en el perfil de ácidos grasos.

Es importante destacar que los incrementos en los niveles de EPA y DHA en la leche, parecerían indicar que estos ácidos grasos escapan a la biohidrogenación ruminal

quedando disponibles para la absorción, determinando así una transferencia directa de la dieta a la leche (Ashes et al., 1992; Palmquist et al., 1994 citados por Burke et al., 1997; Spain et al., 1995). De este modo, la suplementación con harina de pescado podría ser una vía para incrementar el valor nutricional de la leche, en virtud de los numerosos beneficios sobre la salud humana atribuidos al consumo de estos ácidos grasos.

Entre períodos, no se registraron diferencias significativas en el contenido ( $P < 0.2516$ ) y producción ( $P < 0.4176$ ) de grasa de la leche, así como tampoco en la producción de LCG al 4% ( $P < 0.5396$ ). Esto se explicaría porque la composición química de la dieta suministrada entre períodos fue similar en términos promedio.

#### 5.2.2. Contenido y producción de proteína y fracciones nitrogenadas

Es importante destacar que el contenido de proteína de la leche no es tan afectado por variaciones en la dieta como el de grasa, estando más condicionado a las características genéticas del animal (Rearte, 1992).

Los resultados del presente trabajo indican que la suplementación con harina de pescado, no produjo cambios significativos entre los tratamientos, en ninguna de las fracciones nitrogenadas analizadas; datos que concuerdan con los de Small et al. (1990) y Klusmeyer et al. (1991) citados por O'Mara et al. (1998). El contenido de PC presentó valores promedios de 31.27 y 30.20 g/l para los tratamientos de expeller de girasol y harina de pescado respectivamente, encontrándose dentro de los promedios para la raza Holando.

La proteína verdadera tampoco mostró diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0.2869$ ). Del mismo modo, la relación NNP/N total presentó valores de 6.27% para el tratamiento con expeller de girasol y 7.23% para el de harina de pescado ( $P < 0.2036$ ) (cuadro 28). Alais (1985) y Luquet (1991) mencionan que la relación NNP/N total en la leche es del orden del 5%, en virtud de que la proteína verdadera representa aproximadamente el 95% del N total.

En este trabajo, el consumo de proteína cruda (CPC) presentó diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0.0293$ ), siendo 270 g/día mayor para el de expeller de girasol. A pesar de esta diferencia, el CPC en ambos tratamientos, excedió los requerimientos para los niveles productivos registrados; asumiendo que las dietas fueron formuladas para producciones de 35 l/día (NRC, 1989). El exceso de aminoácidos consumidos podría ser objeto de catabolismo, determinando incrementos en la concentración de urea en sangre (Church y Pond, 1996) y consecuentemente en el contenido de NNP en la leche. La relación NNP/N total fue ligeramente superior a la citada en la bibliografía, lo que confirmaría un exceso de nitrógeno en la dieta (como aminoácidos absorbidos o como nitrógeno perdido a nivel ruminal), respecto a los requerimientos de los animales.

El contenido de caseínas en la leche, así como su proporción en la proteína verdadera estuvieron dentro de los rangos citados en la bibliografía, representando cerca del 84% de la misma para ambos tratamientos ( $P < 0.9818$ ). Según Alais (1985), Luquet (1991) y Rearte (1992) las caseínas representan más del 80% de las proteínas de la leche.

Journet (1976) citado por Luquet (1991) y Alais (1985), señala que el nivel energético de la dieta incrementa las concentraciones de compuestos nitrogenados de la leche, aunque en forma limitada. Este aumento se manifiesta fundamentalmente en la concentración de proteína verdadera (Luquet, 1991). En virtud de que no se registraron diferencias en el CMOD entre tratamientos ( $P < 0.6874$ ), las concentraciones de los componentes nitrogenados no presentaron diferencias significativas entre los mismos.

La ausencia de limitantes, en cuanto a la disponibilidad de energía y proteína (RDP y RUP) así como también en el perfil de aminoácidos que llegarían al duodeno, para los niveles productivos alcanzados en ambos tratamientos, explicarían la falta de respuesta en el contenido y producción de las fracciones nitrogenadas entre los mismos; al igual que lo señalan Blauwiekel et al. (1990) y Christensen et al. (1993).

Como consecuencia de no haberse registrado diferencias significativas en los contenidos de las fracciones nitrogenadas, así como tampoco en el rendimiento en leche, la producción diaria de PC, proteína verdadera y caseínas siguió la misma tendencia, no presentando diferencias entre tratamientos. Similares resultados obtuvieron Calsamiglia et al. (1995), quienes trabajando con dietas basadas en silo de maíz, no reportaron diferencias en las fracciones nitrogenadas de la leche por la infusión de harina de pescado en rumen o en duodeno, respecto a la harina de soja.

Entre períodos, se registraron diferencias significativas en la relación NC/N total ( $P < 0.0316$ ), con valores promedio de 80.38% y 76.07% para los períodos 1 y 2 respectivamente. La relación NNP/N total también mostró la misma tendencia ( $P < 0.0406$ ), con un valor de 5.80% para el período 1 y 7.70% para el período 2.

Es necesario destacar que la composición de la fracción proteica de la dieta fue similar entre períodos, por lo cual se puede desestimar un efecto diferencial debido a un mayor aporte de nitrógeno degradable (fundamentalmente a través del expeller de girasol), respecto al nitrógeno total aportado por la dieta (cuadro 23).

Las diferencias en la relación NNP/N total entre períodos, podrían explicarse por un mayor aporte de aminoácidos a nivel intestinal en el período 2. El mayor CMOD, equivalente a 1.19 kg/día en este período, sería valorizado a nivel ruminal con un incremento en la síntesis de proteína microbiana (Stern et al., 1978), determinando de este modo un mayor aporte de esta fracción a los requerimientos del animal. Sutton et al. (1980) citados por Rearte (1992), señalan que el mayor suministro de energía a nivel

ruminal provoca incrementos en la cantidad de proteína microbiana arribando a duodeno. Como ya fuera mencionado, las vacas utilizadas en este ensayo no valorizaron ese incremento en los aminoácidos absorbidos en términos de producción de leche. Al no haberse registrado diferencias significativas en la producción de leche entre períodos ( $P < 0.7960$ ), el exceso de aminoácidos en el período 2 sería catabolizado determinando mayores concentraciones de urea en sangre (Church y Pond, 1996) y por lo tanto niveles superiores de NNP (principalmente urea) en la leche. Roseler et al. (1993) citados por Khorasani et al. (1994) reportaron incrementos en el contenido de NNP en la leche, sin observar cambios en las concentraciones de PC y proteína verdadera. Estos autores sugirieron que el incremento en el contenido de NNP fue el resultado de un incremento en la fracción urea.

### 5.3. EVALUACION SENSORIAL

La instrumentación de un estudio de evaluación sensorial requiere una consideración rigurosa de numerosos factores, que van desde la selección de las muestras a evaluar, área física de la prueba, elección de los jueces y análisis estadístico de los resultados.

Como ya fuera mencionado, es necesario tener la precaución de que las muestras a juzgar difieran únicamente en el parámetro a evaluar, de tal forma de evitar la influencia de otras variables que puedan sesgar la determinación. Las consideraciones en este sentido son variadas, entre otras pueden citarse el color de los vasos, la cantidad de muestra (ml) a evaluar o su temperatura.

En virtud de que no existen instrumentos mecánicos o eléctricos que puedan sustituir el dictamen humano (Pedrero et al., 1989) y que el juicio en cuanto a evaluaciones sensoriales pueden resultar complejas debido a la integración simultánea de múltiples señales, es necesario un entrenamiento del panel de jueces a intervenir en el ensayo. Asimismo, se debe tener precaución entre otros aspectos, de no efectuar la evaluación posteriormente a una comida, no fumar, mascar chicle o beber alcohol minutos antes de la prueba, no utilizar pintura de labios o evitar el uso de perfumes.

En nuestra investigación no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) en las características organolépticas (principalmente sabor), entre las leches provenientes de las vacas asignadas a los tratamientos de harina de pescado y expeller de girasol, para ninguno de los dos períodos evaluados. Estos datos concuerdan con los reportados por Mäntysaari et al. (1989), quienes desarrollaron una prueba de degustación, en virtud de la preocupación existente respecto a que la inclusión de harina de pescado en la dieta para vacas lecheras, impartiría sabores anormales a la leche. Según estos autores, el tipo de pescado utilizado en la fabricación de la harina y el grado de oxidación de los ácidos grasos en la harina de pescado podrían ser los causantes de los sabores anormales. De este modo, la adición de antioxidantes al suplemento con harina de pescado en el trabajo

de Mäntysaari et al., (1989) evitó la oxidación de las grasas en la harina de pescado y consecuentemente, la transferencia de sabores anormales a la leche. En base a esto, los resultados evidenciados en nuestro trabajo podrían explicarse por la adición de antioxidantes que recibe la harina de pescado durante la etapa final de su elaboración en la planta de Fripur.

Sin embargo, se evidencia una ligera tendencia a percibir o reconocer alguna diferencia de sabor entre las leches correspondientes a los tratamientos de harina de pescado y expeller de girasol, puesto que la probabilidad de escoger la respuesta correcta sólo por azar es de 50%, en tanto se obtuvieron 57% y 59% de respuestas correctas para el período 1 y 2 respectivamente, aunque como se mencionó, sin alcanzar la significancia estadística. Para el período 1, se hubiera alcanzado una diferencia estadísticamente significativa ( $P < 0.05$ ) sí, de los 42 juicios emitidos 28 de estos hubieran sido correctos, es decir eran necesarios 4 valoraciones correctas adicionales a las efectivamente registradas. En el caso del período 2, de los 39 juicios emitidos eran necesarios 27 correctos para alcanzar una diferencia estadísticamente significativa ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos, siendo también 4 el número de juicios correctos adicionales que se debió obtener.

A este respecto, es necesario destacar que en la evaluación sensorial desarrollada en nuestra investigación, no se efectuó selección y entrenamiento de los jueces, lo que pudo haber afectado los resultados obtenidos.

## 6. CONCLUSIONES

En este trabajo la suplementación con harina de pescado, en proporciones del 5% de la MS de la dieta, no mostró ventajas en términos de producción de leche, frente a un suplemento proteico de mayor degradabilidad ruminal como el expeller de girasol. El similar consumo de energía entre tratamientos explicaría la ausencia de diferencias pero además, cabe resaltar que los animales utilizados en este ensayo no respondieron como se esperaba, a dietas formuladas para producciones de 35 l/día (NRC, 1989).

El contenido graso de la leche se redujo significativamente por la inclusión de harina de pescado en la dieta, posiblemente como consecuencia de los efectos negativos de los PUFA a nivel post ruminal. Los mismos se atribuyen a una reducción en la absorción de ácidos grasos del plasma por la glándula mamaria (Storry, 1981 citado por Hussein y Jordan, 1991), a una inhibición de la lipasa lipoproteica (Storry et al., 1974 citados por Calsamiglia et al., 1995) y a descensos en la actividad de la acetil-CoA carboxilasa, enzima clave en el proceso de síntesis de novo que ocurre en ese órgano (Storry et al., 1973 citado por Rearte, 1992; Mattos y Palmquist, 1974 citados por Mäntysaari et al., 1989). Basados en la bibliografía y debido al descenso en el contenido graso de la leche registrado, podrían asumirse variaciones en el perfil de ácidos grasos de la leche, con incrementos en las concentraciones de los ácidos grasos insaturados de cadena larga, en detrimento de los saturados sintetizados de novo. Asimismo, podrían incrementarse los niveles de omega-3 (EPA y DHA) en la leche.

El contenido de proteína, fracciones nitrogenadas y sus relaciones, no fueron afectados por la suplementación con harina de pescado. La ausencia de limitantes, en cuanto a la disponibilidad de energía y proteína (RDP y RUP) así como también en el perfil de aminoácidos que llegarían al duodeno, para los moderados niveles productivos registrados en ambos tratamientos, explicarían la falta de respuesta obtenida

Entre períodos, únicamente se registraron diferencias en las relaciones NC/N total y NNP/N total. El mayor consumo de energía evidenciado en el período 2, valorizado posiblemente en un incremento en la síntesis de proteína microbiana, podría haber determinado un aporte de aminoácidos a nivel intestinal en exceso y por lo tanto un mayor catabolismo, resultando en mayores concentraciones de urea en sangre (Church y Pond, 1996) y en consecuencia niveles superiores de NNP (principalmente urea) en la leche.

No fueron detectadas diferencias en las características organolépticas (principalmente sabor), entre las leches correspondientes a los tratamientos de expeller de girasol y harina de pescado.

La falta de respuesta de los animales a dietas formuladas para lograr mayores rendimientos productivos, fue un factor determinante de los resultados obtenidos en este

ensayo. Esto podría haber enmascarado las ventajas de la harina de pescado como suplemento proteico, en virtud de que la RUP no fue una limitante para los niveles de producción de leche registrados. Basándose en todo lo antes mencionado, resultan necesarias más investigaciones para tratar de elucidar los efectos de la suplementación con harina de pescado sobre el consumo, la producción de leche y la composición de la misma. En cuanto a esta última debería profundizarse sobre las causas que provocan el descenso en el contenido graso de la leche y cuáles serían los factores de manejo que lo evitarían (nivel de inclusión entre otros).

## 7. RESUMEN

Seis vacas Holando multíparas entre el tercer y cuarto mes de lactancias (66 a 115 días post parto), con una producción promedio al inicio del período experimental de 28.2 l/día y 552 kg de PV promedio, fueron utilizadas para determinar los efectos de la suplementación con harina de pescado sobre la producción y composición de la leche.

Los tratamientos evaluados consistieron en dos dietas isoenergéticas (1.70 Mcal de ENL/kg de MS) e isoproteicas (16% de PC), que variaban en la fuente y en el contenido de RUP del suplemento. Las mismas se suministraron a razón de una cantidad equivalente al 4% (en MS) del PV de los animales. Las dietas basadas en silo de maíz, maíz molido, urea, bicarbonato de sodio y carbonato de calcio, variaban en la fuente proteica: expeller de girasol ó harina de pescado y en la degradabilidad ruminal del suplemento proteico, siendo alta para el expeller de girasol (16% de RUP) y baja para la harina de pescado (65% de RUP) (NRC, 2001). Se utilizó un diseño experimental de cuadrado latino de 2 × 2 replicado, con dos períodos (1 y 2) de 15 días cada uno, en donde se evaluaron los tratamientos. Cada período estuvo compuesto de una etapa de acostumbamiento y otra de mediciones. En el primer período, grupos de tres vacas fueron asignados a cada tratamiento, invirtiéndose el mismo en el segundo período; de esta forma cada animal fue testigo de sí mismo.

No se evidenciaron respuestas significativas en el rendimiento en leche entre los tratamientos de expeller de girasol y harina de pescado, con promedios de producción de 27.30 y 26.02 l/día respectivamente. La suplementación con harina de pescado en una proporción equivalente al 5% de la MS de la dieta, redujo significativamente el contenido de grasa de la leche de 31.33 a 26.82 g/l. No ocurrió lo mismo con la producción diaria de grasa y de LCG al 4%, las cuales no fueron significativas pero mostraron una tendencia decreciente en el tratamiento con harina de pescado, respecto al de expeller de girasol. El contenido de PC, proteína verdadera y fracciones nitrogenadas, así como también su producción diaria, no fueron diferentes entre tratamientos encontrándose dentro de los rangos citados en la bibliografía. Los valores promedio registrados para el contenido de PC fueron de 31.27 y 30.20 g/l para los tratamientos de expeller de girasol y harina de pescado, en tanto la proteína verdadera promedió 29.33 y 28.03 g/l respectivamente. El contenido de NNC presentó valores promedio de 1.04 g/l para el tratamiento de expeller de girasol y 1.05 g/l para el de harina de pescado, el contenido de NC fue de 3.86 y 3.68 g/l y el contenido de NNP de 0.30 y 0.34 g/l respectivamente. En lo referente a la producción diaria de éstas fracciones para los tratamientos de expeller de girasol y harina de pescado, los valores promedio fueron de 847.16 y 758.91 g/día para PC, 795.23 y 704.32 g/día para la proteína verdadera, 28.45 y 26.52 g/día para NNC, 104.33 y 92.43 g/día para NC y 8.14 y 8.56 g/día para NNP respectivamente.

Entre períodos, únicamente se registraron diferencias en las relaciones NC/N total y NNP/N total. Los registros promedio para el primer caso fueron de 80.38% para el período 1 y 76.07% para el período 2, en tanto para la relación NNP/N total fueron de 5.80% y 7.70% respectivamente.

No fueron detectadas diferencias en las características organolépticas (principalmente sabor) entre las leches correspondientes a los tratamientos de expeller de girasol y harina de pescado.

## 8. BIBLIOGRAFIA

1. ABU-GHAZALEH, A.A.; SCHINGOETHE, D.J.; HIPPEN, A.R. 2001. Conjugated linoleic acid and other beneficial fatty acids in milk fat from cows fed soybean meal, fish meal, or both. *Journal of Dairy Science*. 84 (8):1845-1850
2. \_\_\_\_\_; SCHINGOETHE, D.J.; HIPPEN, A.R.; WHITLOCK, L.A. 2002. Feeding fish meal and extruded soybeans enhances the conjugated linoleic acid (CLA) content of milk. *Journal of Dairy Science*. 85 (3):624-631
3. AEC. 1973. Fish meal for fattening pigs. *Commentry (France)*. 4 p.
4. AKAYEZU, J.M.; HANSEN, W.P.; OTTERBY, D.E.; CROOKER, B.A.; MARX, G.D. 1997. Yield response of lactating holstein dairy cows to dietary fish meal or meat and bone meal. *Journal of Dairy Science*. 80 (11): 2950-2963
5. ALAIS, C. 1985. *Ciencia de la leche; principios de técnica lechera*. 2a. Barcelona (España), Reverté. 872 p.
6. ATWAL, A.S.; ERFLE, J.D. 1992. Effects of feeding fish meal to cows on digestibility, milk production, and milk composition. *Journal of Dairy Science*. 75 (2):502-507
7. BAKER, M.J.; AMOS, H.E.; NELSON, A.; WILLIAMS, C.C.; FROETSCHER, M.A. 1996. Undegraded intake protein: effects on milk production and amino acid utilization by cows fed wheat silage. *Canadian Journal of Animal Science*. 73 (3): 367-376
8. BATEMAN, H.G.; SPAIN, J.N.; KERLEY, M.S.; BELYEA, R.L.; MARSHALL, R.T. 1999. Evaluation of ruminally protected methionine and lysine or blood meal and fish meal as protein sources for lactating holsteins. *Journal of Dairy Science*. 82 (10):2115-2120
9. BLAUWIEKEL, R.; HOOVER, W.H.; SLIDER, S.D.; MILLER, T.K. 1990. Effects of fish meal protein supplementation on milk yield and composition and blood constituents of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 73 (11):3217-3211
10. BLIGH, E.G.; SHAW, S.J.; WOYEWODA, A.D. 1988. Effects of drying and smoking on lipids of fish. In *Fish smoking and drying, the effect of smoking and drying on the nutritional properties of fish*. J.R. BURT. London. Elsevier. pp 41-52.
11. BRODERICK, G.A. 1992. Relative value of fish meal versus solvent soybean meal for lactating dairy cows fed alfalfa silage as sole forage. *Journal of Dairy Science*. 75 (1):174-183
12. \_\_\_\_\_. 1995. Performance of lactating dairy cows fed either alfalfa silage or alfalfa hay as the sole forage. *Journal of Dairy Science*. 78 (2):320-329
13. \_\_\_\_\_.; WALGENBACH, R.P.; STERRENBURG, E. 2000. Performance of lactating dairy cows fed alfalfa or red clover silage as the sole forage. *Journal of Dairy Science*. 83 (7):1543-1551
14. BURGESS, G.H.O.; CUTTING, C.L.; LOVERN, J.A.; WATERMAN, J.J., eds. 1987. *El pescado y las industrias derivadas de la pesca*. 2a. Zaragoza (España), Acibia. 384 p.

15. BURKE, J.M.; STAPLES, C.R.; RISCO, C.A.; DE LA SOTA, R.L.; THATCHER, W.W. 1997. Effect of ruminant grade menhaden fish meal on reproductive and productive performance of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 80 (12):3386- 3398
16. BURT, J.R. 1988. The effect of drying and smoking on the vitamin content of fish. In *Fish smoking and drying, the effect of smoking and drying on the nutritional properties of fish*. J.R. BURT. London. Elsevier. pp 53- 60.
17. CALSAMIGLIA, S.; CAJA, G.; STERN, M.D.; CROOKER, B.A. 1995. Effects of ruminal versus duodenal dosing of fish meal on ruminal fermentation and milk composition. *Journal of Dairy Science*. 78 (9):1999-2007
18. CARROLL, D.J.; HOSSAIN, F.R.; KELLER, M.R. 1994. Effect of supplemental fish meal on the lactation and reproductive performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 77 (10):3058-3072
19. CHALUPA, W.; SNIFFEN, J. 1996. Protein and amino acid nutrition of lactating dairy cattle- today and tomorrow. *Animal Feed Science Technology*. 58 (1-2):65-75
20. CHILIBROSTE, P. 1998. Fuentes comunes de error en la alimentación del ganado lechero: I- Predicción del consumo. In *XXVI Jornadas Uruguayas de Buiatría*. pp. 1-7
21. CHIOU, P.W.-S.; CHEN, K.J.; KUO, K.S.; HSU, J.C.; YU, B. 1995. Studies on the protein degradabilities of feedstuffs in Taiwan. *Animal Feed Science Technology*. 55 (3-4):215-226
22. \_\_\_\_\_; YU, B.; WU, S.-S.; CHEN, K.-J. 1997. Effect of dietary protein source on performances and rumen characteristics of dairy cows. *Animal Feed Science Technology*. 68 (3-4):339-351
23. CHRISTENSEN, R.A.; LYNCH, G.L.; CLARK, J.H.; YU, Y. 1993. Influence of amount and degradability of protein on production of milk and milk components by lactating holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 76 (11):3490-3496
24. CHURCH, D.C.; POND, W.G. 1996. *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales*. 5a Reimp. México D.F. (México), Limusa. 438 p.
25. CLEGG, R.A.; BARBER, M.C.; POOLEY, L.; LARONDELLE, Y.; TRAVERS, M.T. 2001. Milk fat synthesis and secretion: molecular and cellular aspects. *Livestock Production Science*. 70 (1-2):3-14
26. CUNNIF, Patricia, ed. *Official methods of analysis of AOAC International*. Edited by Patricia Cunnif. 16a. ed. Arlington, Virginia: AOAC, 1995. 2v.
27. CUNNINGHAM, K.D.; CECAVA, M.J.; JOHNSON, T.R.; LUDEN, P.A. 1996. Influence of source and amount of dietary protein on milk yield by cows in early lactation. *Journal of Dairy Science*. 79 (4):620-630
28. DE BLAS, C.; MATEOS, G.C.; REBOLLAR, P.G., eds. 1997. *Normas FEDNA para la formulación de piensos compuestos*. Madrid. Fundación española para el desarrollo de la nutrición animal (FEDNA). 496 p.
29. DEWHURST, R.J.; ASTON, K.; FISHER, W.J.; EVANS, R.T.; DHANOA, M.S.; McALLAN, A.B. 1999. Comparison of energy and protein sources offered

- at low levels in grass-silage-based diets for dairy cows. *Animal Science*. 68 (4):789-799
30. DHIMAN, T.R.; ANAND, G.R.; SATTER, L.D.; PARIZA, M.W. 1999. Conjugated linoleic acid content of milk from cows fed different diets. *Journal of Dairy Science*. 82 (10):2146-2156
  31. \_\_\_\_\_; SATTER, L.D.; PARIZA, M.W.; GALLI, M.P.; ALBRIGHT, K; TOLOSA, M.X. 2000. Conjugated linoleic acid (CLA) content of milk from cows offered diets rich in linoleic and linolenic acid. *Journal of Dairy Science*. 83 (5):1016-1027
  32. FAO. 1975. La producción de harina y de aceite de pescado. Roma. 62 p. (Documentos técnicos de la FAO sobre la pesca no. 142)
  33. GAYNOR, P.J.; WALDO, D.R.; CAPUCO, A.V.; ERDMAN, R.A.; DOUGLASS, L.W.; TETER, B.B. 1995. Milk fat depression, the glucogenic theory, and trans-C<sub>18:1</sub> fatty acids. *Journal of Dairy Science*. 78 (9):2008-2015
  34. GEIGER, E. 1962. Fish protein-nutritive aspects. In *Fish as food vol. II*. G. BORGSTROM ed. New York, Academic press. pp 29-91.
  35. GROMPONE, M.A. 1992. Aceites de pescado de interés nacional. *Ingeniería Química*. 3 (4):14-19
  36. HADJIPANAYIOTOU, M.; KOUMAS, A.; HADJIGAVRIEL, G.; ANTONIOU, I.; PHOTIOU, A.; THEODORIDOU, M. 1996. Feeding dairy ewes and goats and growing lambs and kids mixtures of protein supplements. *Small Ruminant Research*. 21 (3):203-211
  37. HARRIS, B.; STAPLES, C.R. 1992. Animal protein by-products feedstuffs for dairy cattle. Florida Cooperative Extension Service. Fact Sheet DS 34 of the Dairy Production Guide. 2 p.
  38. HOOVER, W.H.; MILLER, T.K.; STOKES, S.R.; THAYNE, W.V. 1989. Effects of fish meal on rumen bacterial fermentation in continuous culture. *Journal of Dairy Science*. 72 (11):2991-2998
  39. HUSSEIN, H.S.; JORDAN, R.M. 1991. Fish meal as a protein supplement in ruminant diets: a review. *Journal of Animal Science*. 69:2147-2156
  40. JACQUOT, R. 1961. Organic constituents of fish and other aquatic animal foods. In *Fish as food vol. I*. G. BORGSTROM ed. New York, Academic press. pp 145-209.
  41. KEADY, T.W.J.; MURPHY, J.J. 1998. The effects of ensiling and supplementation with sucrose and fish meal on forage intake and milk production of lactating dairy cows. *Animal Science*. 66 (1):9-20
  42. KHORASANI, G.R.; DE BOER, G.; KENNELLY, J.J. 1996. Response of early lactation cows to ruminally undegradable protein in the diet. *Journal of Dairy Science*. 79 (3):446-453
  43. \_\_\_\_\_; DE BOER, G.; ROBINSON, B.; KENNELLY, J.J. 1994. Influence of dietary protein and starch on production and metabolic responses of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 77 (3):813-824

44. LEOSCHKE, W.L. 1962. Fish in the raising of mink. In Fish as food vol. II. G. BORGSTROM ed. New York, Academic press. pp 435- 441.
45. LUDORFF, W.; MEYER, V. 1978. El pescado y los productos de la pesca. 2a. Zaragoza (España), Acribia. pp 74-100.
46. LUQUET, F.M. 1991. Leche y productos lácteos; vaca-oveja-cabra. 1a. Zaragoza (España), Acribia. 390 p.
47. MABJEESH, S.J.; ARIELI, A.; BRUCKENTAL, I.; ZAMWELL, S.; TAGARI, H. 1996. Effect of type of protein supplementation on duodenal amino acid flow and absorption in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 79 (10):1792-1801
48. MADISON-ANDERSON, R.J.; SCHINGOETHE, D.J.; BROUK, M.J.; BAER, R.J.; LENTSCH, M.R. 1997. Response of lactating cows to supplemental unsaturated fat and niacin. *Journal of Dairy Science*. 80 (7):1329-1338
49. MAIGA, H.A.; SCHINGOETHE, D.J. 1997. Optimizing the utilization of animal fat and ruminal bypass proteins in the diets of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 80 (2):343-352
50. MÄNTYSAARI, P.E.; SNIFFEN, C.J.; MUSCATO, T.V.; LYNCH, J.M.; BARBANO, D.M. 1989. Performance of cows in early lactation fed isonitrogenous diets containing soybean meal or animal by-product meals. *Journal of Dairy Science*. 72 (11):2958-2967
51. MARCH, B.E. 1962. Fish meal and condensed fish solubles in poultry and livestock feeding. In Fish as food vol. II. G. BORGSTROM ed. New York, Academic press. pp 377-434.
52. MARICHAL, M.J.; CARRIQUIRY, M.; TRUJILLO, A.I. 1999. Partición de los nutrientes en el organismo animal y su regulación. Montevideo. Facultad de Agronomía. 25 p.
53. MARK MORRIS INSTITUTE. 2000. Nutrición clínica en pequeños animales. Bogotá (Colombia), Inter.-Médica.
54. MEHREZ, A.Z.; ORSKOV, E.R.; OPSTVEDT, J. 1980. Processing factors affecting degradability of fish meal in the rumen. *Journal of Animal Science*. 50 (4): 737-744
55. MÉNDEZ, E. 1997. Seasonal changes in the lipid classes and fatty acid compositions of hake (*Merluccius hubbsi*) liver oil. *Journal of American Oil Chemists' Society*. 74 (9):1173-1175
56. MOLINA, P.; DIAZ, J.R.; PUMAR, M. 1993. Industrias lácteas; prácticas de análisis de leche. Valencia (España). Universidad Politécnica de Valencia. 11 p.
57. O´MARA, F.P.; MURPHY, J.J.; RATH, M. 1997. The amino acid composition of protein feedstuffs before and after ruminal incubation and after subsequent passage through the intestines of dairy cows. *Journal of Animal Science*. 75 (7):1941-1949
58. \_\_\_\_\_; MURPHY, J.J.; RATH, M. 1998. Effect of amount of dietary supplement and source of protein on milk production, ruminal fermentation, and nutrient flows in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 81 (9):2430-2439

59. OFFER, N.W.; MARSDEN, M.; DIXON, J.; SPEAKE, B.K.; THACKER, F.E. 1999. Effect of dietary fat supplements on levels of n-3 poly-unsaturated fatty acids, trans acids and conjugated linoleic acid in bovine milk. *Animal Science*. 69 (3):613-625
60. OLIVERA, L.; ROMAR, C.; VERGARA, G. 2003. La harina de pescado como suplemento proteico para vacas lecheras. Efectos sobre el consumo, la digestibilidad y la producción. Tesis de Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía.
61. OLLEY, J.; DOE, P.E.; HERUWATI, E.S. 1988. The influence of drying and smoking on the nutritional properties of fish: an introductory overview. In *Fish smoking and drying, the effect of smoking and drying on the nutritional properties of fish*. J.R. BURT. London. Elsevier. pp 1-21.
62. OPSTVEDT, J. 1988. Influence of drying and smoking on protein quality. In *Fish smoking and drying, the effect of smoking and drying on the nutritional properties of fish*. J.R. BURT. London. Elsevier. pp 23-39.
63. ORCASBERRO, R.; MARICHAL, M.J.; ARIAS, G.; COSTABEL, M.; PIAGGIO, L. 1987. *Alimentos*. Montevideo. Facultad de Agronomía. 28 p.
64. ORSKOV, E.R.; REID, G.W.; TAIT, C.A.G. 1987. Effect of fish meal on the mobilization of body energy in dairy cows. *Animal Production*. 45:345-348
65. PAN, B.S. 1988. Udesirable factors in dried fish products. In *Fish smoking and drying, the effect of smoking and drying on the nutritional properties of fish*. J.R. BURT. London. Elsevier. pp 61-72.
66. PEARSON, D. 1986 *Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos*. 1a Reimp. Zaragoza (España), Acribia. 331 p.
67. PEDRERO, D.L.; PANGBORN, R.M. 1989. *Evaluación sensorial de los alimentos; métodos analíticos*. 1a. México D.F. (México), Alambra. 18 p.
68. PIKE, I.A. 1999. Health benefits from feeding fish oil and fish meal; the role of long chain omega-3 polyunsaturated fatty acids in animal feeding. International Fishmeal and Oil Manufacturers Association (INFOMA). College Yard Lower II Street, St. Albans, U.K. 22 p.
69. POLAN, C.E.; COZZI, G.; BERZAGHI, P.; ANDRIGHETTO, I. 1997. A blend of animal and cereal protein or fish meal as partial replacement for soybean meal in the diets of lactating holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 80 (1):160-166
70. REARTE, D.H. 1992. *Alimentación y composición de la leche; en los sistemas pastoriles*. 1a. Buenos Aires (Argentina), Centro Regional Buenos Aires Sur (CERBAS). 94 p.
71. RODRÍGUEZ, A.; BARRERA-ARELLANO, D.; GROMPONE, M.A. 1993b. Estabilidad oxidativa del aceite de hígado de merluza. *Grasas y Aceites*. 44 (4-5):270-273
72. \_\_\_\_\_; JACHMANIÀN, I.; AMAYA, A.; GROMPONE, M.A. 1993a. Ácidos grasos poli-insaturados en filetes de pescados uruguayos. *Alimentos*. 18 (1):15-19

73. SALCEDO, G. 1998. Efectos del tipo de proteína suplementada a vacas lecheras consumiendo ensilados de hierba de alta degradabilidad. *Investigación –Agraria: Producción y Sanidad Animales*. 13 (1-2-3):55-67
74. SANTOS, F.A.P.; SANTOS, J.E.P.; THEURER, C.B.; HUBER, T. 1998. Effects of rumen-undegradable protein on dairy cow performance: a 12-year literature review. *Journal of Dairy Science*. 81 (12):3182-3213
75. SAS User's Guide: Statistics, Version 6 Edition. 1989. SAS Inst., Inc., Cary, NC.
76. SCHROEDER, G.F.; GAGLIOSTRO, G.A. 2000. Fish meal supplementation to grazing dairy cows in early lactation. *Journal of Dairy Science*. 83 (12):2899-2906
77. SPAIN, J.N.; POLAN, C.E.; WATKINS, B.A. 1995. Evaluating effects of fish meal on milk fat yield of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 78 (5):1142-1153
78. SPARRE, T. 1965. Fish meal: manufacture, properties, and utilization. In *Fish as food vol. III*. G. BORGSTROM ed. New York, Academic press. pp 411-443.
79. STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. 1988. *Bioestadística; principios y procedimientos*. 2a. México, McGraw.Hill. 622 p.
80. STERN, M.D.; HOOVER, H.; SNIFFEN, C.J.; CROOKER, B.A.; KNOWLTON, P.H. 1978. Effect of non structural carbohydrates, urea and soluble protein levels on microbial protein synthesis in continuous culture of rumen contents. *Journal of Animal Science*. 47: 944-956
81. TARR, H.L.A. 1962. Changes in nutritive value through handling and processing procedures. In *Fish as food vol. II*. G. BORGSTROM ed. New York, Academic press. pp 235-261.
82. TSUCHIYA, T. 1961. Biochemistry of fish oils. In *Fish as food vol. I*. G. BORGSTROM ed. New York, Academic press. pp 211-247.
83. UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA (URUGUAY) FACULTAD DE AGRONOMIA. 1995. Anatomía y fisiología de la glándula mamaria; biosíntesis de la leche y ordeño. Montevideo, Facultad de Agronomía. 54 p.
84. \_\_\_\_\_. 1996. Recopilación de tablas de requerimientos de animales domésticos. Montevideo, Facultad de Agronomía. 34 p.
85. \_\_\_\_\_. 1999. Curso teórico-práctico de nutrición animal. Montevideo, Facultad de Agronomía. 78 p.
86. UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA (URUGUAY) FACULTAD DE QUIMICA. 2000. Determinación de nitrógeno por el método de Kjeldahl. Montevideo, Facultad de Química. 21 p.
87. VAGNONI, D.B.; BRODERICK, G.A. 1997. Effects of supplementation of energy or ruminally undegradable protein to lactating cows fed alfalfa hay or silage. *Journal of Dairy Science*. 80 (8):1703-1712
88. WEISS, W.P. 1995. Full lactation response of cows fed diets with different sources and amounts of fiber and ruminal degradable protein. *Journal of Dairy Science*. 78 (8):1802-1814
89. WHEELER, J.G.; AMOS, H.E.; FROETSCHER, M.A.; COOMER, J.C.; MADDOX, T. 1995. Responses of early lactation cows fed winter and summer

- annual forages and undegradable intake protein. *Journal of Dairy Science*. 78 (12):2767-2781
90. WINDSOR, M.; BARLOW, S. 1984. *Introducción a los subproductos de pesquería*. 1a. Zaragoza (España), Acribia. 204 p.
  91. WRIGHT, T.C.; HOLUB, B.J.; McBRIDE, B.W. 1999. Apparent transfer efficiency of docosahexaenoic acid from diet to milk in dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science*. 79 (4):565-568
  92. XU, S.; HARRISON, J.H.; CHALUPA, W.; SNIFFEN, C.; JULIEN, W.; SATO, H.; FUJIEDA, T.; WATANABE, K.; UEDA, T.; SUZUKI, H. 1998. The effect of ruminal bypass lysine and methionine on milk yield and composition of lactating cows. *Journal of Dairy Science*. 81 (4):1062-1077
  93. YOON, I.K.; LINDQUIST, K.J.; HONGERHOLT, D.D.; STERN, M.D.; CROOKER, B.A.; SHORT, K.D. 1996. Variation in menhaden fish meal characteristics and their effects on ruminal protein degradation as assessed by various techniques. *Animal Feed Science Technology*. 60 (1-2):13-27

## ANEXO I

### 1. DETERMINACION DEL CONTENIDO DE GRASA DE LA LECHE

#### 1.1. PREPARACION DE LA MUESTRA

Homogeneizar la muestra invirtiendo suavemente varias veces, evitando la formación de espuma o solidificación de la grasa.

#### 1.2. PROCEDIMIENTO

Manteniendo el butirómetro en posición vertical con un soporte adecuado, agregar: 10.0 ml de ácido sulfúrico 90%; luego agregar lentamente y por la pared del butirómetro, 11.00 ml de leche y después 1.00 ml de alcohol isoamílico, evitando mojar el cuello del mismo. Secar el cuello del butirómetro y colocar el tapón con la ayuda de la llave especial. Invertir y agitar el butirómetro varias veces, sosteniéndolo con un paño, de forma que el bulbo se vacíe y se llene completamente cada vez, hasta que no se observen partículas blancas. Colocar el butirómetro, con el tapón hacia abajo, en baño de agua a  $65 \pm 2$  °C durante 10 minutos. Trasladar el butirómetro a la centrífuga y centrifugar durante 10 minutos a 1200 rpm. Llevar nuevamente el butirómetro al baño de agua a  $65 \pm 2$  °C durante 10 minutos. Sacar el butirómetro del baño y proceder a su lectura de la siguiente manera: por medio de la llave especial, se lleva el nivel inferior de la columna de grasa sobre la graduación principal (número entero). Se lee directamente el porcentaje de grasa por la longitud de la columna con una aproximación de 0.05, tomando la lectura desde la base de la columna hasta la parte inferior del menisco superior. Mientras se realiza la lectura, debe mantenerse el butirómetro en posición vertical con el ojo a la altura del punto de lectura, para evitar errores de paralaje.

## ANEXO II

### 1. DETERMINACION DEL CONTENIDO DE NITROGENO NO PROTEICO (NNP)

#### 1.1. PREPARACION DE LA MUESTRA

Homogeneizar la muestra de leche invirtiendo suavemente varias veces y calentarla a  $38 \pm 1$  °C.

#### 1.2. PROCEDIMIENTO

Pipetear 10 ml de leche, en un matraz aforado de peso conocido y pesar. Luego agregar 40 ml de ácido tricloroacético 15% (p/v) y volver a pesar. Mezclar el contenido y dejar en reposo durante 5 minutos. Filtrar con Whatman N° 1 o equivalente. Si el filtrado no es transparente y exento de partículas, repetir el procedimiento de precipitación y filtración. Agitar el filtrado, tomar 20 ml en un vaso de bohemia y pesar. Pasar el contenido a un tubo de digestión y pesar el vaso vacío. Realizar la determinación del nitrógeno según Kjeldhal (AOAC, 1995). Para la valoración del destilado utilizar HCl 0.01 N.

#### 1.3. CALCULOS

Para el cálculo del contenido de NNP se utiliza la siguiente formula:

$$\frac{1.4007 \times N \times (V_m - V_b)}{P_f \times P_m / (P_t - 0.065 P_m)}$$

Donde:

$V_m$  = ml de ácido gastado en la muestra,

$V_b$  = ml de ácido gastado en el blanco,

$N$  = normalidad exacta del ácido,

$P_f$  = peso (g) de los 20 ml de filtrado,

$P_m$  = peso (g) de la muestra de leche,

$P_t$  = peso (g) de la muestra + los 40 ml de tricloroacético.

#### **Nota:**

- El factor 0.065 del denominador es adecuado para una leche que contenga alrededor de 3.5% de grasa y 3.0% de proteína verdadera ( $0.035 + 0.030$ ). Es necesario corregir este factor si se analiza otro tipo de leche o producto lácteo en función de su composición.

## ANEXO III

### 1. DETERMINACION DEL CONTENIDO DE NITROGENO NO CASEINICO (NNC)

#### 1.1. PREPARACION DE LA MUESTRA

Homogeneizar la muestra de leche invirtiendo suavemente varias veces y calentarla a  $38 \pm 1$  °C.

#### 1.2. PROCEDIMIENTO

Pesar alrededor de 10 g de leche, en un matraz aforado de 100 ml. Agregar 75 ml de agua destilada a 40 °C. Luego agregar 1 ml de ácido acético 10% (p/v). Agitar suavemente el contenido del matraz y dejar reposar durante 10 minutos. Añadir 1 ml de acetato de sodio 1 N y agitar de nuevo. Dejar enfriar el contenido a 20 °C aproximadamente y completar con agua hasta el aforo. Homogeneizar invirtiendo lentamente el matraz. Filtrar con Whatman N° 1 o equivalente y recoger el filtrado en un recipiente seco. Determinar el contenido de NNC sobre 50 ml de filtrado, según Kjeldhal (AOAC, 1995).

#### 1.3. CALCULOS

Para el cálculo del contenido de NNC se utiliza la siguiente formula:

$$\frac{1.4007 \times N \times (V_m - V_b)}{\text{Cantidad de muestra (g)}} \times 2$$

Donde:

$V_m$  = ml de ácido gastado en la muestra,

$V_b$  = ml de ácido gastado en el blanco,

N = normalidad exacta del ácido.



ANEXO V

TABLA F. 2. Número mínimo de juicios correctos para establecer significancia a varios niveles de probabilidad para pruebas de preferencia por pares (dos colas,  $p = 1/2$ )\*.

Número de ensayos (n)	Niveles de probabilidad						
	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.005	0.001
7	7	7	7	7			
8	8	8	8	8	8		
9	8	8	9	9	9	9	
10	9	9	9	10	10	10	
11	10	10	10	10	11	11	11
12	10	10	11	11	11	12	12
13	11	11	11	12	12	12	13
14	12	12	12	12	13	13	14
15	12	12	13	13	13	14	14
16	13	13	13	14	14	14	15
17	13	14	14	14	15	15	16
18	14	14	15	15	15	16	17
19	15	15	15	15	16	16	17
20	15	16	16	16	17	17	18
21	16	16	16	17	17	18	19
22	17	17	17	17	18	18	19
23	17	17	18	18	19	19	20
24	18	18	18	19	19	20	21
25	18	19	19	19	20	20	21
26	19	19	19	20	20	21	22
27	20	20	20	20	21	22	23
28	20	20	21	21	22	22	23
29	21	21	21	22	22	23	24
30	21	22	22	22	23	24	25
31	22	22	22	23	24	24	25
32	23	23	23	23	24	25	26
33	23	23	24	24	25	25	27
34	24	24	24	25	25	26	27
35	24	25	25	25	26	27	28
36	25	25	25	26	27	27	29
37	25	26	26	26	27	28	29
38	26	26	27	27	28	29	30
39	27	27	27	28	28	29	31
40	27	27	28	28	29	30	31
41	28	28	28	29	30	30	32
42	28	29	29	29	30	31	32
43	29	29	30	30	31	32	33

Continúa

\* Los valores que no aparecen en la tabla pueden calcularse de:

$$x = (z \cdot n + n + 1) / 2.$$

---

TABLA F.2. *Continuación*

<i>Número de ensayos (n)</i>	<i>Niveles de probabilidad</i>						
	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.005	0.001
44	29	30	30	30	31	32	34
45	30	30	31	31	32	33	34
46	31	31	31	32	33	33	35
47	31	31	32	32	33	34	36
48	32	32	32	33	34	35	36
49	32	33	33	34	34	35	37
50	33	33	34	34	35	36	37
60	39	39	39	40	41	42	44
70	44	45	45	46	47	48	50
80	50	50	51	51	52	53	56
90	55	56	56	57	58	59	61
100	61	61	62	63	64	65	67

