



UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

Facultad de Ciencias Agrarias

Escuela de Ingeniería en Alimentos

Sustitución parcial de la harina de pescado por harina de haba (*Vicia faba var. minor* (Harz) Beck) en la formulación de alimento para salmónidos

Tesis presentada como parte de los
Requisitos para optar al grado de
Licenciado en Ingeniería en
Alimentos.

Elisa Solange Daroch Salazar

Valdivia Chile 2002

PROFESOR PATROCINANTE:

Sr. Fernando Figuerola Rivas
Ingeniero Agrónomo, M. S. Food Science
Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos

Firma

PROFESORES INFORMANTES:

Sr. Erwin Carrasco R.
Ingeniero Civil Químico
Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos

Firma

Sr. Aage Krarup H.
Ingeniero Agrónomo, M.S., Ph. D.
Instituto de Producción y Sanidad Vegetal

Firma

A mi papá y mamá, quienes
gracias a ellos durante toda
mi vida me han apoyado,
guiado y me han ayudado a
alcanzar mis metas.
A Rodrigo, por todo el apoyo
que me ha dado, por su
comprensión y por todo su
amor.
....Los amo mucho!...

AGRADECIMIENTOS

- En agradecimientos a la empresa CETECSAL S.A. y SALMOFOOD S.A., por el patrocinio a este trabajo.
- A mi profesor patrocinante Sr. Fernando Figuerola R., por su ayuda y por guiarme durante el desarrollo de esta Tesis.
- A mi profesor informante de esta tesis Sr. Aage Krarup H., por darme de su tiempo para reunir información, por su ayuda y colaboración de esta tesis.
- A mi profesor informante de este trabajo Sr. Erwin Carrasco R., a los profesores Sr. Manuel Pinto C. y Sr. Fernando Asenjo V., por la ayuda otorgada y colaboración.
- A los profesores y personal del Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos.
- A Sandra Müller, gracias por el apoyo que me has dado, por haber estado siempre dispuesta a ayudarme, gracias también por tu amistad.
- A todos mis amigos y a mis hermanos Nicolás y Emilio, quienes en distintas ocasiones aportaron “su granito de arena” en la realización de esta Tesis.

INDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Objetivo general	2
1.2	Objetivos específicos	2
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Características botánico-agronómicas del haba	3
2.2	Composición nutricional de la semilla del haba	7
2.2.1	Proteínas	7
2.2.2	Carbohidratos	12
2.2.3	Grasa	13
2.2.4	Fibra	15
2.2.5	Vitaminas y minerales	16
2.3	Factores antinutricionales del haba	18
2.3.1	Inhibidores de la tripsina	19
2.3.2	Hemaglutininas (lectinas)	20
2.3.3	Glucósidos	22
2.3.4	Ácido fítico	22
2.3.5	Taninos	23
2.3.6	Cianógenos	24
2.4	Procesamiento de las semillas de haba	24
2.4.1	Eliminación de factores antinutricionales en semillas de haba	25
2.5	Composición química de la harina de haba (<i>Vicia faba</i> var. <i>minor</i>)	26

2.6	Potenciales usos de la harina de semilla de haba	27
2.7	Uso de la harina de haba en alimento para salmónidos	28
2.8	Requerimientos nutricionales de los salmónidos	33
2.8.1	Requerimientos energéticos	33
2.8.2	Proteínas y aminoácidos esenciales	35
2.8.3	Carbohidratos	38
2.8.4	Lípidos	39
2.8.5	Vitaminas	42
2.8.6	Minerales	45
2.8.7	Digestibilidad de los ingredientes	46
2.9	Principales ingredientes usados en la formulación de dietas para salmónidos	47
2.10	Uso de la programación lineal en la formulación de dietas para salmónidos	49
2.11	Antecedentes necesarios para el uso de la programación lineal en la formulación de dietas para salmónidos	50
2.11.1	Antecedentes de los requerimientos nutricionales de los salmónidos	50
2.11.2	Antecedentes de la composición química y de los aminoácidos de los ingredientes	50
2.11.3	Antecedentes de la energía neta y digestible de los ingredientes	56
2.11.4	Antecedentes de los precios de los ingredientes	57
3	MATERIALES Y METODOS	59
3.1	Materiales	59
3.1.1	Semilla seleccionada de haba	59
3.1.2	Material de laboratorio	59
3.2	Métodos	59
3.2.1	Revisión bibliográfica	59

3.2.2	Proceso de descascarado de la semilla de haba	60
3.2.3	Preparación de las harinas de haba de los diferentes procesos aplicados a las semillas	60
3.2.4	Análisis proximal y de fósforo a la harina de haba	60
3.2.5	Evaluación teórica de la calidad nutricional de la harina de haba, en la formulación del alimento para salmónidos	61
3.2.6	Formulación teórica de las dietas con incorporación de diferentes niveles de harina de haba	61
3.2.7	Uso de la programación lineal para establecer la factibilidad de reemplazar harina de pescado por harina de haba	62
3.3	Metodología estadística	63
3.3.1	Diseño experimental	63
3.3.2	Análisis de datos	64
4	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	65
4.1	Análisis proximal y de fósforo de las muestras de semilla con testa y descascarada de haba	65
4.1.1	Resultados del análisis de materia seca	65
4.1.2	Resultados del análisis de proteína	66
4.1.3	Resultados del análisis de extracto etéreo	67
4.1.4	Resultados del análisis de cenizas	68
4.1.5	Resultados del análisis de fibra	68
4.1.6	Resultados del análisis de fósforo	69
4.2	Resultados de la formulación de las dietas para salmónidos, con incorporación de harina de haba de semilla descascarada	70
4.2.1	Dietas para truchas	70
4.2.2	Dietas para salmónes del Atlántico y Coho	80
4.3	Superficie necesaria a sembrar con haba para reemplazar	

	parcialmente la harina de pescado en alimentos para salmónidos	87
5	CONCLUSIONES	89
6	RESUMEN	91
	SUMMARY	93
7	BIBLIOGRAFÍA	94

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Composición química de <i>Vicia faba</i> L, presente en la semilla entera, cotiledones y testa (% en base materia seca)	8
2	Composición de aminoácidos de vicilina y legumina en <i>Vicia faba</i> L. (g/ 100 g proteína)	9
3	Perfil de aminoácidos esenciales de la especie <i>Vicia faba</i> L. (% en base seca)	11
4	Composición de aminoácidos de la testa, cotiledones y semilla entera de haba <i>Vicia faba</i> var. <i>minor</i> (g aminoácidos/ 100 g proteína)	12
5	Contenido de ácidos grasos del haba (% ácido graso del total de lípidos)	15
6	Vitaminas contenidas en las semillas enteras de <i>Vicia faba</i> var. <i>minor</i> y de <i>Vicia faba</i> var. <i>major</i> (por 100 g en peso seco)	17
7	Contenido de minerales de las principales variedades de semillas enteras de haba (por kg en peso seco)	18
8	Contenido de algunos factores antinutricionales en semillas de haba	19
9	Composición química de la harina de haba (<i>Vicia faba</i> var. <i>minor</i>) descascarada	26
10	Composición química del haba (<i>Vicia faba</i> var. <i>minor</i>) con testa y descascarada	27
11	Requerimientos de aminoácidos esenciales de los salmónidos (g aminoácido/ 100 g de dieta)	37

12	Digestibilidad de carbohidratos en peces	40
13	Requerimientos de vitaminas recomendadas para los salmónidos	44
14	Requerimientos de minerales de los salmónidos	46
15	Principales requerimientos nutricionales de los salmónidos	51
16	Composición de ácidos grasos EPA y DHA de la harina y aceite de pescado	51
17	Composición química de la harina de pescado	52
18	Composición de la harina integral de trigo, los ingredientes IPI, IPII, IPIII, IPIV, el arbocel y el premix vitamínico (% en base húmeda)	56
19	Composición de aminoácidos de los ingredientes (g/ 100 g de harina)	57
20	Energía neta y digestible de los ingredientes (MJ/ kg)	57
21	Precios de los ingredientes	58
22	Composición química de dieta para truchas y para salmones del Atlántico y Coho	62
23	Valores promedios y error estándar del análisis proximal y de fósforo de las muestras de semilla de haba con testa y descascarada	66
24	Formulación, composición química y de aminoácidos de la dieta para truchas con 43% de proteínas y 26% de lípidos	76
25	Formulación, composición química y de aminoácidos de la dieta para truchas con 43% de proteínas y 30% de lípidos	77
26	Formulación, composición química y de aminoácidos de la dieta para truchas con 40% de proteínas y 30% de lípidos	78

27	Formulación, composición química y de aminoácidos de la dieta para truchas con 38% de proteínas y 35% de lípidos	79
28	Formulación, composición química y de aminoácidos de la dieta para salmones con 43% de proteínas y 26% de lípidos	83
29	Formulación, composición química y de aminoácidos de la dieta para salmones con 43% de proteínas y 30% de lípidos	84
30	Formulación, composición química y de aminoácidos de la dieta para salmones con 40% de proteínas y 30% de lípidos	85
31	Formulación, composición química y de aminoácidos de la dieta para salmones con 38% de proteínas y 35% de lípidos	86

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Flores de <i>Vicia faba</i> var. <i>minor</i> agrupadas en inflorescencia (a), y su vaina o fruto (b)	5
2	Semillas de <i>Vicia faba</i> , variedades <i>minor</i> , <i>major</i> y <i>equina</i>	6

1. INTRODUCCION

En sólo unas décadas Chile se ha convertido en el segundo país productor de salmónes a nivel mundial. De registrar exportaciones mínimas en 1980, Chile ha llegado a ser el segundo país productor del mundo después de Noruega. Tal como lo reconocen los mismos productores, mucho se ha conseguido en base a la optimización de los alimentos para salmónes y sus elementos de control, como muchas de las innovaciones que ha experimentado el sector.

El alimento es el principal ítem de costo en la actividad de la salmonicultura y dentro de éste, los insumos que proveen principalmente la proteína y energía son la harina y el aceite de pescado.

En este sentido, la industria elaboradora de alimentos para peces vive en estos momentos una situación que si bien no es crítica, no deja de ser complicada. Podría producirse un conflicto entre disponibilidad de materias primas, las expectativas de crecimiento de la salmonicultura y la necesidad de mantener o incluso mejorar las cualidades del salmón. Lo anterior ha llevado a las empresas elaboradoras de alimentos para peces a plantearse una serie de estrategias para optimizar el uso de estas materias primas, y buscar otras alternativas que sean más estables en el tiempo.

Para enfrentar los problemas mencionados se están buscando como alternativa, las fuentes de proteína de origen vegetal que posean características apropiadas, de materias primas con alto contenido de proteína y un bajo contenido de fósforo y fibra, para reemplazar parcialmente la harina de pescado, en la formulación de alimento para salmónidos.

Entre las alternativas de origen vegetal se encuentra el haba, la cual constituye una opción tanto desde el punto de vista proteico como de posibilidad de cultivo en la IX y X Región, ya que las empresas elaboradoras de alimentos para salmónidos se encuentran ubicadas entre las VIII y X Regiones del país, lo

que podría proporcionar importantes ventajas de flete con respecto a productos actualmente utilizados.

En el presente estudio se propone como fuente proteica vegetal la harina de haba, para reemplazar parcialmente la harina de pescado, en la formulación de dietas para salmónidos.

1.1 Objetivo general

El objetivo general del presente proyecto es evaluar la factibilidad de sustituir parcialmente la harina de pescado por harina de haba *Vicia faba* var. *minor* (Harz) Beck, en la formulación de una dieta para salmónidos.

1.2 Objetivos específicos

- Elaborar harinas de haba a partir de semillas descascaradas y sin descascarar.
- Evaluar el efecto del descascarado sobre el contenido de fibra cruda y cenizas.
- Evaluar teóricamente la calidad nutricional de la harina de haba, en la formulación del alimento para salmónidos.
- Formular dietas teóricas para salmónidos, reemplazando parcialmente la harina de pescado por harina de haba, y optimizando con el uso de programación lineal para menor costo.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

En este capítulo se consideran las características nutricionales y botánico - agronómicas del haba, sus factores antinutricionales, y la calidad nutricional de la harina de haba para la formulación de alimento para salmónidos. Además, se incluyen los requerimientos nutricionales de esta especie y antecedentes químicos y económicos de los principales ingredientes usados en la formulación de dietas para salmónidos.

2.1 Características botánico – agronómicas del haba

El haba o habichuela, pertenece a la familia Fabaceae y género *Vicia* (KRARUP y MOREIRA, 1988), y según la clasificación de Mutarova; citado por HEBBLETHWAITE (1983), corresponde botánicamente a la especie *Vicia faba* L. (KRARUP y MOREIRA, 1988; HEBBLETHWAITE, 1983), siendo dividida en dos subespecies; *paucijuga* y *eu-fabae* (HEBBLETHWAITE, 1983), en atención al tamaño de las semillas y vainas (KRARUP y MOREIRA, 1988). Dentro de las *eu-fabae*, existen tres variedades que son comúnmente reconocidas también en atención al tamaño de las semillas y las vainas: la semilla grande var. *major*, la semilla intermedia var. *equina*, y la semilla pequeña var. *minor* (HEBBLETHWAITE, 1983; KRARUP y MOREIRA, 1988; MATEO, 1961).

Es una planta herbácea, con un sistema radical que presenta una raíz primaria pivotante, muy desarrollada y bastante profundizadora, que puede alcanzar hasta 1,5 m, con numerosas raíces secundarias y terciarias y nódulos que fijan entre 50 a 100 u de nitrógeno por hectárea, que son aprovechadas en un 80% por la misma planta (KRARUP y MOREIRA, 1988).

Esta es una leguminosa anual o perenne y que presenta la propiedad de enriquecer o incrementar la fertilidad de los suelos, por medio del mecanismo de fijación de nitrógeno del aire por quimiosíntesis a moléculas orgánicas, a través de

un proceso simbiótico con bacterias fijadoras de nitrógeno del género *Rhizobium*, donde la planta provee el nicho ecológico y la fuente de carbono, principalmente (KRARUP y MOREIRA, 1988; CUBERO y MORENO, 1983).

Los principales productores mundiales de haba son Marruecos, Túnez, Egipto y Argelia (KRARUP y MOREIRA, 1988).

En Chile, los primeros conocimientos de esta leguminosa fueron de unos tipos de *Vicia faba* var. *major*, proveniente de España (Sevilla), una llamada comúnmente *aguadulce* o haba blanca, y otra llamada *mucha miel* o haba morada, las cuales son muy difundidas en el país, y que fueron introducidas en Chile por los españoles en el siglo XVI (KRARUP y MOREIRA, 1988).

La producción de haba para grano en Chile se ha realizado preferentemente en la especie *Vicia faba* var. *major*, la cual es la mas grande de las tres especies ya que presentan semillas de 1,5 - 3 cm de largo, y cuya materia seca contiene 26,44% de proteínas, 2,65% de grasa y 6,7% de fibra cruda (KRARUP y MOREIRA, 1988).

Sin embargo, en mucho menor escala, se ha incluido en el país la siembra de *Vicia faba* var. *minor*, introducida durante los años 70` por el profesor Aage Krarup, quien trajo varias líneas provenientes de Siria. Esta variedad botánica se caracteriza por presentar semillas pequeñas de 1 a 2 cm de largo. Esta variedad predomina como cultivo en el norte de Europa, especialmente en Gran Bretaña, Valle del Nilo y también en Norteamérica, pero su utilización principal es forrajera o como abono verde (KRARUP y MOREIRA, 1988). Su grano aporta 23 - 31% de proteínas, 0,8 - 1,1% de grasa, y 7,7 - 9,3% de fibra cruda (MARQUARDT **et al.** 1975). Este grano se cultiva solamente en zonas marginales y en pequeñas superficies, cuya producción se destina preferentemente a la alimentación animal (BASCUR, 1993).

Las flores de *Vicia faba* var. *minor* agrupadas en inflorescencia y las vainas o frutos se muestran en la FIGURA 1.

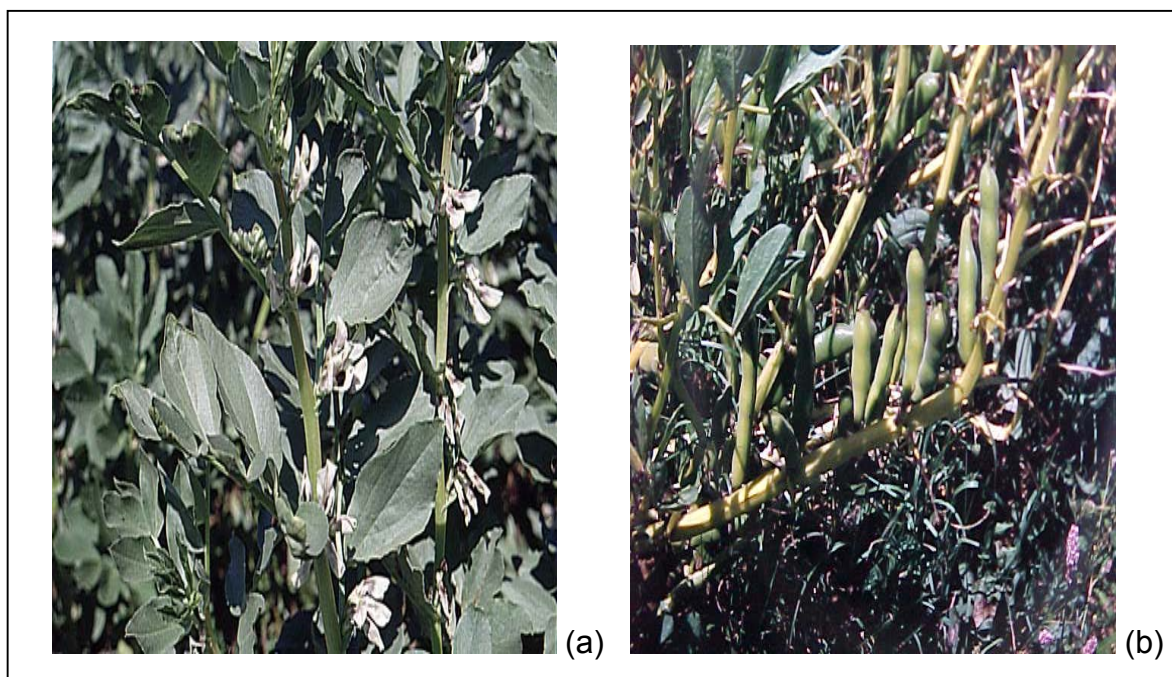


FIGURA 1 Flores de *Vicia faba* var. *minor* agrupadas en inflorescencia (a), y su vaina o fruto (b).

Las semillas de haba son diferentes, según la variedad; son más o menos esféricas, aunque también las hay muy aplastadas y de colores muy distintos. Su peso típico oscila entre 1 a 3 g. Las semillas de *Vicia faba* var. *major* son grandes, ovoidales y aplastadas, de colores ligeramente coloreadas, verdes y blanco-grisáceas, los cuales dependen de muchos factores como la edad, la prontitud de la recolección, composición físico-química del suelo y la manera de recolectar. Su peso oscila entre 2 a 3 g. Las semillas de *Vicia faba* var. *minor* y *equina* tienen frutos o vainas pequeñas y redondeadas, siendo la especie *equina* ligeramente más grande. Estas semillas tienen tamaño pequeño y de colores de verde a morado, debido a una oxidación causada por el tiempo (MATEO, 1961). Su peso oscila entre 1 a 1,5 g.

En la FIGURA 2 se muestran semillas de la especie *Vicia faba* de las variedades *minor*, *major* y *equina*.

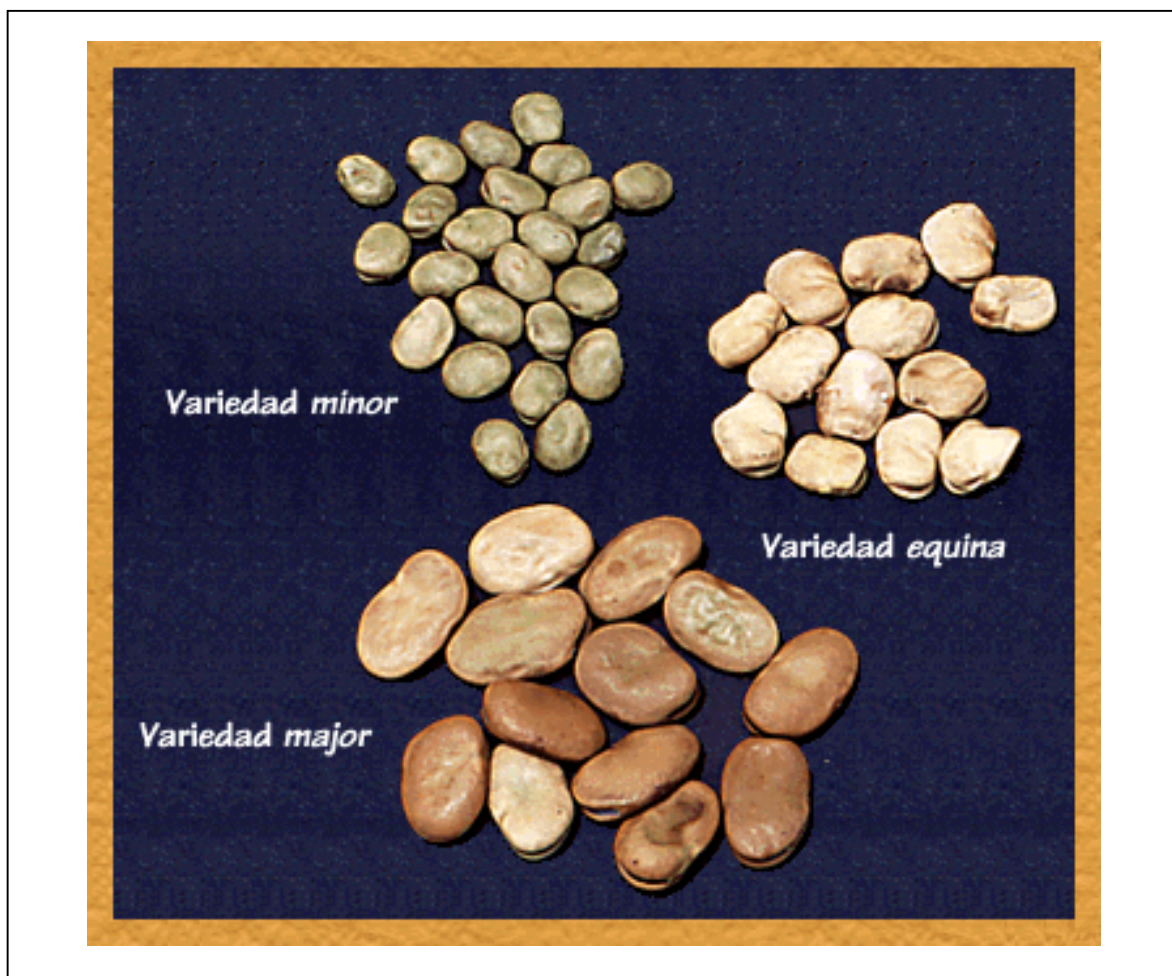


FIGURA 2 Semillas de *Vicia faba*, variedades *minor*, *mayor* y *equina*.

El haba se cultiva en el país principalmente para producción en fresco (*Vicia faba* var. *major*), en una superficie de 3.000 ha con un rendimiento de 6.000 kg/ha en vaina, la que se comercializa como producto hortícola (FAO, 1982). La superficie sembrada con esta leguminosa en Chile alcanzó en los años 1999/2000 las 2.191 hectáreas (ODEPA con antecedentes del INE). La superficie corresponde fundamentalmente al 95% para consumo en grano verde y menos del 5% para grano seco (KRARUP y MOREIRA, 1988). Se estima que la superficie cultivada con haba de la variedad *major* se concentra en las Regiones V, Metropolitana y VI (KRARUP y MOREIRA, 1988).

Cabe señalar que en la VII Región se está aplicando el sistema para producir grano seco y semilla (GIACONI y ESCAFF, 1993).

2.2 Composición nutricional de la semilla del haba.

Dentro de las leguminosas, el haba es un vegetal que es ampliamente utilizado como alimento animal debido principalmente a su buen contenido proteico. Además, a las semillas de leguminosas se les considera como suplemento natural de los cereales, ya que sus niveles generalmente altos de lisina en comparación con éstos, compensan su deficiencia en las gramíneas, mientras que éstas subsanan la insuficiencia de aminoácidos azufrados de las leguminosas. Su calidad nutricional varía debido a la presencia de antinutrientes (MARTINEZ *et al.* 1996).

En el CUADRO 1 se muestra la composición química de *Vicia faba* L. presente en la semilla, cotiledones (incluyendo al embrión) y cáscara.

2.2.1 Proteínas. Sobre el 80% del total de la proteína de la semilla está en los cotiledones como una reserva no metabólica, mucho de ella en los llamados cuerpos proteicos o granos de aleurona (HEBBLETHWAITE, 1983). Cerca del 80% del total de las proteínas del haba son albúminas y globulinas, 15% son glutelinas y menos del 5% son prolaminas (CUBERO y MORENO, 1983). Las dos globulinas son legumina y vicilina, las cuales difieren en el tamaño, peso molecular y en las propiedades isoeléctricas (HEBBLETHWAITE, 1983)

Las globulinas son normalmente solubles en buffer con un pH cercano a 4,0. La solubilidad aumenta cuando aumenta el pH, es decir, a pH 10 sobre el 90% de la proteína de la semilla es soluble (NEWAZ Y NEWAZ, 1986). Por otro lado, según Crispeeds, Bollini y Harris; citado por HEBBLETHWAITE (1983), la solubilidad de ambas globulinas a pH 4,7 son diferentes ya que a ese pH la legumina es insoluble, pero la vicilina es soluble.

CUADRO 1 Composición química de *Vicia faba* L, presente para la semilla entera, cotiledones y testa (% en base materia seca).

Constituyentes	Semilla entera	Cotiledones (87% de la semilla)	Testa (13% de la semilla)
Carbohidratos	4,5	5,5	1,6
Sacarosa	1,6	2,36	0,54
Rafinosa	0,45	0,67	Trazas
Estaquiosa	0,83	1,06	0,29
Verbascosa	2,57	2,61	0,75
Almidón	41,4	47,0	0,4
Total fibra cruda	8,0	2,4	53,4
Celulosa	4,8	2,35	45,2
No-celulosa	0,5	0,23	3,62
Lignina cruda	1,5	0,94	5,50
Proteína (N x 6,25)	32,5	34,5	6,70
Ceniza	3,45	3,31	2,55
Lípidos	1,63	1,85	0,42
Total	98,6	99,0	84,1

Fuente: HEBBLETHWAITE (1983).

Se ha encontrado en la estructura de ambas globulinas grandes cantidades de ácidos aspártico y glutámico, de arginina, lisina y leucina pero pequeñas cantidades de triptofano y de aminoácidos azufrados, como la cistina y la metionina (Matersson; citado por SJÖDIN, 1982; MARQUARDT *et al.* 1975).

La fracción de la legumina es de especial interés desde el punto de vista de la semilla, ya que tiene el doble del contenido de aminoácidos azufrados comparado con la fracción de vicilina (Derbyshire 1976, citado por SJÖDIN, 1982). En relación al haba, un aumento de la relación de legumina:vicilina en la proteína, podría tener en ella un contenido mas alto en metionina y cistina (SJÖDIN, 1982). Matersson; citado por SJÖDIN (1982), determinó la variación de esta razón en seis cultivares de habas de la variedad *minor*, y demostró que el aumento de la

relación de legumina:vicilina era paralelo al aumento del contenido de proteína en las semillas, pero desafortunadamente había un bajo contenido de metionina y cistina, pero un buen contenido de lisina y arginina.

En el CUADRO 2 se presenta la composición de aminoácidos de la vicilina y la legumina de *Vicia faba L.*

CUADRO 2 Composición de aminoácidos de la vicilina y la legumina en *Vicia faba L.* (g/100 g Proteína).

Aminoácido	Vicilina	Legumina
Arginina	7,8	11,3
Histidina	2,4	3,0
Lisina	8,1	5,3
Tirosina	3,8	3,9
Trionina	0,08	1,2
Fenilalanina	6,8	4,8
Cistina	0,28	0,74
Metionina	0,36	0,7
Serina	5,1	5,1
Triptofano	2,9	3,9
Leucina	9,3	8,0
Isoleucina	5,2	4,0
Valina	4,3	4,4
Glutinina	17,6	19,2
Aspargina	11,9	11,0
Alanina	3,1	3,9
Prolina	-	-
Glicina	2,5	3,8

FUENTE: BOULTIER, 1980.

Según Picard; citado por SJÖDIN (1982), existe una variación considerable entre variedades de haba en el contenido de proteína, que va desde un 23 a un 41%. Bond y Toynbee - Clarke y Bond; citados por SJÖDIN (1982), han observado que en promedio las habas de invierno tienen un contenido más bajo de proteína que las habas de primavera (CUBERO y MORENO, 1983; Eden y Clarke; citados por WALY y EL-AAL, 1986; Griffiths y Lawes, Picard; citados por HEBBLETHWAITE, 1983; MARQUARDT, 1975), ya que durante la primavera hay un desarrollo en los cultivares con un contenido de proteína cruda de sobre un 35%, y que la variación en la composición proteica es debido a diferencias genéticas y ambientales, del cultivar (Picard; citado por SJÖDIN, 1982) junto con la simbiosis, particularmente por el *Rhizobium leguminosarum* (en cultivo estéril), que se ha demostrado que afecta el contenido de proteínas en la semilla (Griffiths y Lawes; citado por HEBBLETHWAITE, 1983) y también debido al descascarado (MARQUARDT **et al.** 1975) ya que mediante a esto, la semilla tiene un marcado enriquecimiento de la proteína (MARQUARDT **et al.** 1975).

La proteína de haba tiene un perfil de aminoácidos relativamente bueno, aunque posee un contenido muy bajo de dos aminoácidos azufrados: metionina y cistina, siendo un 0,47% (MARQUARDT, 1984; SJÖDIN, 1982), lo cual es característico de las leguminosas (LOPEZ-BELLIDO y FUENTES, 1986; TODOROV **et al.** 1996). En contraste a los cereales, el haba tiene un alto contenido de lisina con un 1,94% (MARQUARDT, 1984; SJÖDIN, 1982; AHMED **et al.** 1989), y su uso se ha incrementado como un suplemento proteico para animales en alimentos cereales para la alimentación diaria (ALI **et al.** 1989) y además esta leguminosa es considerada que tiene un buen contenido en arginina, con un 2,77% (MARQUARDT, 1984), el cual es un aminoácido que también juega un rol importante en cuanto al contenido de proteínas (SJÖDIN, 1982).

En el CUADRO 3 se presenta el perfil de aminoácidos esenciales del haba *Vicia fava* L.

CUADRO 3 Perfil de aminoácidos esenciales de la especie *Vicia faba* L. (% en base seca).

Aminoácido	<i>Vicia faba</i> L.
Arginina	2.77
Glicina	1.25
Histidina	0.77
Isoleucina	1.25
Leucina	2.13
Lisina	1.94
Metionina y cistina	0.47
Fenilalanina y tirosina	2.13
Treonina	1.02
Triptofano	0.03
Valina	1.44

FUENTE: MARQUARDT (1984).

Waring, citado por MARQUARDT (1984), determinó que la digestibilidad real de la proteína del haba tiene un 83%, con rangos de altos valores de un 92% para la arginina a valores bajos de un 70% para los aminoácidos azufrados.

En el CUADRO 4 se presenta la composición de aminoácidos de las testas, cotiledones (en harina de semilla descascarada) y la semilla entera del haba *Vicia faba* var. *minor*, con un 5,9% (12% de la semilla), 36% (88% de la semilla), y 32% de proteína, respectivamente.

La composición de aminoácidos de las habas tanto en la testa como en el cotiledón son muy diferentes. Los niveles de arginina y ácido glutámico del cotiledón son casi el doble que en la testa. Los aminoácidos azufrados, son nutricionalmente aminoácidos limitantes, donde los niveles son un poco menores en el cotiledón que en la testa. Los niveles de fenilalanina y prolina son similares entre las variedades (MARQUARDT *et al.* 1975).

Es posible que un contenido mas alto de proteínas en la semilla de haba esté relacionado con la madurez de éstas (Picard; citado por HEBBLETHWAITE, 1983).

CUADRO 4 Composición de aminoácidos de la testa, cotiledones y la semilla entera de haba *Vicia faba* var. *minor* (g aminoácido/ 100 g proteína).

Aminoácido	Cáscaras	Cotiledones	Semilla entera
Alanina	5,2	4,3	4,4
Arginina	5,9	10,3	10,6
Ácido aspártico	11,7	12,2	12,0
Cistina	1,6	1,1	1,1
Ácido glutámico	11,8	18,7	18,3
Glicina	10,8	4,4	4,5
Histidina	2,9	2,6	2,8
Isoleucina	4,0	4,0	4,0
Leucina	7,0	8,0	7,7
Lisina	6,9	6,4	7,0
Metionina	0,9	0,6	0,6
Fenilalanina	4,3	4,3	4,3
Prolina	4,2	4,3	4,3
Serina	5,2	5,0	5,0
Treonina	3,9	3,6	3,5
Tirosina	6,0	3,4	3,4
Valina	4,8	4,5	4,5

FUENTE: MARQUARDT **et al.** (1975).

2.2.2 Carbohidratos. Del total del peso seco, la semilla entera de haba contiene un 60% de carbohidratos los cuales se concentran mayoritariamente en los cotiledones (90%) y en menor proporción en la testa (10%) (HEBBLETHWAITE, 1983).

Menos de un décimo del total de los carbohidratos en la semilla entera y en los cotiledones son solubles en etanol, mientras que en la testa esta proporción es mas baja. Los constituyentes principales en esa fracción soluble son la sacarosa y una serie de otros oligosacáridos llamados rafinosa, estaquiosa y verbascosa. Su contenido es de alrededor 6,7% en *Vicia faba var. minor* (CUBERO y MORENO, 1983). Estos oligosacáridos llaman la atención por su conocida tendencia de causar problemas de flatulencia en los animales (Liener, citado por HEBBLETHWAITE, 1983). Además, Lineback y Ke, citados por HEBBLETHWAITE (1983) han encontrado trazas de azúcares simples o monosacáridos tales como glucosa, fructosa, ramnosa, xilosa y galactosa (HEBBLETHWAITE, 1983).

La variabilidad de la composición de carbohidratos depende de factores ambientales y estacionales, ya que las fracciones de dextrina, almidón y azúcares solubles en etanol tanto en invierno como en primavera son 46 a 48% y 30 a 42%, respectivamente; y las fracciones de lignina, celulosa, hemicelulosa y polisacáridos solubles en agua son 19 a 29% y 22 a 37%, respectivamente (MARQUARDT, 1984).

La semilla de haba tiene una gran cantidad de almidón (41,4%) particularmente en los cotiledones, los cuales se cuentan por casi la mitad del peso seco (47%). Solo se tiene una traza de almidón en la testa (0,4%).

La testa del haba es principalmente celulosa y hemicelulosa los cuales comprenden el 13% del grano, además tiene un bajo contenido en lignina. También se han identificado trazas de monosacáridos, como glucosa, fructosa, ramnosa, xilosa y galactosa, con un total de 5,5% en los cotiledones (HEBBLETHWAITE, 1983).

2.2.3 Grasa. La semilla de haba tiene un bajo contenido en grasa, aproximadamente 1-2% del peso seco, ya que contiene hasta un 1,63% en la semilla entera, un 1,85% en los cotiledones y un 0,42% en la cáscara. Según Eskin y Henderson, citados por HEBBLETHWAITE (1983), esta grasa es de poca

importancia desde el punto de vista comercial, debido a que la semilla procesada a harina de haba sufre algunos cambios de coloración (manchas) durante el almacenamiento, causada por una oxidación enzimática.

En general, en las legumbres en estado de madurez la mayor proporción de lípidos son almacenados en los cuerpos grasos. La mayoría de las legumbres contienen altas cantidades de ácidos grasos esenciales, como los ácidos linoleico y linolénico los cuales son los ácidos grasos esenciales más importantes requeridos para el crecimiento, funciones fisiológicas y mantenimiento (SALUNKHE **et al.** 1985).

La composición de los ácidos grasos del haba es principalmente insaturada, ya que el contenido de ácido linoleico compone sobre el 50% del total de ácidos grasos presentes, por lo tanto es el más abundante en el haba (HEBBLETHWAITE, 1983), y además contiene los ácidos oleico, linolénico; y los ácidos saturados como palmítico, esteárico y araquidónico (SALUNKHE **et al.**, 1985). Dos tercios de la grasa en las habas están presentes como fosfolípidos (HEBBLETHWAITE, 1983).

El contenido total de lípidos en las legumbres varía de acuerdo a la especie, variedad, la estación del año, condiciones ambientales, localidad, clima y el tipo de suelo en el cual son cultivados (Worthington **et al.** citados por SALUNKHE **et al.** 1985). Sin embargo, según Eden, citado por CUBERO y MORENO (1983), no existen diferencias del contenido de grasa entre las distintas variedades de habas.

En comparación con el lupino amarillo (*Lupinus luteus*), se ha encontrado que los triglicéridos, los fosfolípidos y galactolípidos en el haba se encuentran en mayor cantidad, aunque las proporciones son distintas entre las especies (HEBBLETHWAITE, 1983).

Los ácidos grasos poliinsaturados linoleico, C18:2 omega-6 y linolénico, C18:3 omega-3 son esenciales para los humanos, así como para los peces y otros vertebrados, por lo que deben ser suministrados en la dieta (NRC, 1993).

En el CUADRO 5 se presenta el contenido de ácidos grasos del haba (*Vicia faba* L.).

CUADRO 5 Contenido de ácidos grasos del haba *Vicia faba* L. (% ácido graso del total de lípidos).

Ácido graso	Nombre común	<i>Vicia faba</i> L.
Saturado		
16:0	Palmítico	11,25
18:0	Estearico	1,88
20:0	Araquidónico	0,63
Insaturado		
18:1	Oleico	20,0
18:2	Linoleico	40,63
18:3	Linolénico	31,3

FUENTE: SALUNKHE **et al.** (1985).

2.2.4 Fibra. En general el total de fibra cruda presente en el haba es bastante alto en la testa con un 53,4%, teniendo una menor proporción en los cotiledones, de hasta un 2,4%, y hasta un 8,0% en la semilla entera y con una cantidad de celulosa mayoritaria en la testa con un 45,22% (HEBBLETHWAITE, 1983; ROWLAND, 1977).

La semilla de *Vicia faba* var. *major* contiene entre 6,9% - 7,03% de fibra cruda (ROWLAND, 1977), y la semilla de *Vicia faba* var. *minor* contiene entre 6,7 - 7,7% (MARQUARDT **et al.** 1975), por lo tanto no se encuentran diferencias en el contenido de fibra entre variedades.

El haba tiene los niveles de fibra cruda mas altos que muchas otras legumbres (FAROUK, 1982; ROWLAND, 1977). Esta fibra, al encontrarse principalmente en la testa de la semilla es de poca importancia para ser usada en alimentos (ROWLAND, 1977).

Descascarando la semilla se puede disminuir la cantidad de fibra cruda, aumentando así, el contenido de energía metabolizable y el valor nutricional de las harinas (MARQUARDT, 1984).

Sin embargo, la testa de la semilla contiene un 53,4% de fibra cruda (FAROUK, 1982).

La reducción en el tamaño de la semilla está relacionado a una reducción del espesor que corresponde a la testa de la semilla en cuanto al contenido de fibra (FAROUK, 1982), ya que según Rowland y Fowler; citados por FAROUK (1982) y ROWLAND (1977), los cultivares de habas difieren significativamente en el grosor de la cáscara, la cual mediante análisis de regresión puede proporcionar una predicción parcial del contenido de fibra cruda de la semilla.

2.2.5 Vitaminas y minerales. Tanto las habas como las legumbres en general constituyen una buena fuente de tiamina, riboflavina y niacina. Muchas especies contienen solamente pequeñas cantidades de caroteno, en tanto que dependiendo del cultivar, puede carecer de éste, por lo que el caroteno no contribuye mucho como precursor de la vitamina A en la dieta (SALUNKHE *et al.* 1985).

Gregory y Kirk, citados por SALUNKHE *et al.* (1985), sugieren que la presencia de polisacáridos no digestibles y de lignina que componen la fibra dietaria, pueden reducir la disponibilidad de la vitamina B₆ en la absorción intestinal. Esos autores indican que existen tratamientos físicos para la vitamina B₆, unidos a tratamientos iónicos u otros de absorción en la alteración de la viscosidad del contenido intestinal. Algunos de esos pueden influenciar en la absorción de la vitamina B₆ (SALUNKHE *et al.* 1985).

Tanto habas como las legumbres en general contienen tocoferoles en cantidades mayores que los cereales enteros. En comparación con otros alimentos comunes, el haba es una buena fuente de ácido fólico (SALUNKHE *et al.* 1985).

En el CUADRO 6 se presenta el contenido de vitaminas de las semillas de enteras de *Vicia faba* var. *minor* y de *Vicia faba* var. *major*. En el se observa que ambas especies se destacan por sus buenas concentraciones de niacina.

CUADRO 6 Vitaminas contenidas en las semillas enteras de *Vicia faba* var. *minor* y de *Vicia faba* var. *major* (por 100 g en peso seco) .

Vitamina	<i>Vicia faba</i> var. <i>minor</i> ¹	<i>Vicia faba</i> var. <i>major</i>
β-caroteno (μg)	130	100 ³
Tiamina (mg)	0,54	0,38 ³
Riboflavina (mg)	0,24	0,29 ³
Niacina (mg)	2,3	2,1 ²

FUENTE: ¹DUKE (1981); ²SALUNKHE et al. (1985); ³MATEO (1961).

El grano de haba es una muy buena fuente de macro y microelementos minerales. Es una excelente fuente en mayor cantidad de fósforo y sodio, y en menor cantidad en calcio y potasio, y aunque el fósforo esté presentes como fitato, éste es utilizado principalmente por especies domésticas (HEBBLETHWAITE, 1983).

Las testas contienen considerablemente menos fósforo (0,33%), pero mas calcio que los cotiledones. Aproximadamente un 40% del total de azufre en el grano está en diferentes formas como aminoácidos azufrados; este azufre tiene un efecto muy pequeño en los valores biológicos de la semilla. Similarmente los valores nutritivos del fósforo total presente está influenciado por fitatos, la mezcla sales de calcio y magnesio de mio-inositol 1,2,3,4,5,6 hexakis hidrógeno fosfato. La proporción está aproximadamente entre 40% a 60%, dependiendo del cultivar y de las condiciones ambientales (HEBBLETHWAITE, 1983).

En el CUADRO 7 se presenta el contenido de minerales de dos variedades de habas. En el se observa que la haba tiene altas cantidades de nitrógeno, calcio, magnesio, fósforo y sodio; en *Vicia faba* var. *minor* se han encontrado niveles de 0,53 mg/kg de fósforo, mucho de esto se concentra en los

cotiledones. Además, se observa que las variedades de haba son bajas en potasio, cobre, hierro, manganeso y zinc. El aporte de estos nutrientes, no presenta problemas en las formulaciones de alimentos con haba, ya que se les agrega mezclas de vitaminas y minerales (HEBBLETHWAITE, 1983).

CUADRO 7 Contenido de minerales de las principales variedades de semillas enteras de haba (por kg en peso seco).

Minerales	<i>Vicia faba</i> var. <i>minor</i> (g) ³	<i>Vicia faba</i> var. <i>major</i> (g) ¹
Nitrógeno	47	48,2
Calcio	32	32,7
Magnesio	46	36
Fósforo	53	56
Potasio	14	15,5
Sodio	52	52
Minerales	(%)	(mg) ¹
Cobre	-	6,0
Hierro	26 ³	23
Manganeso	-	18
Zinc	-	70

FUENTE: ¹LABUDA y LABUDA (1990); ³HELMY (1987).

2.3 Factores antinutricionales del haba.

La utilización del haba está limitada por la presencia de varias sustancias antinutricionales, tales como inhibidores de tripsina (inhibidores de proteasa), hemaglutininas, glucósidos, fitatos, taninos; entre otros. La participación de esos factores se concentra entre la testa y el cotiledón (HEBBLETHWAITE, 1983), teniendo mayor concentración en el cotiledón (Marquardt y Campbell, citados por HEBBLETHWAITE, 1983).

Aunque el haba contenga un amplio grupo de estos factores antinutricionales, los efectos de aquellos factores son menos agudos que en muchas otras legumbres (NEWAZ y NEWAZ, 1986).

Muchos de esos factores pueden ser eliminados por tratamientos de calor, y a causa de esto, se mejora la calidad nutricional de los granos (NEWAZ y NEWAZ 1986; GOUVEIA *et al.* 1991; CUBERO y MORENO, 1983; HEBBLETHWAITE, 1983).

En el CUADRO 8 se presentan los factores antinutricionales de dos variedades de haba.

CUADRO 8 Contenido de algunos factores antinutricionales en semillas de haba.

Factor	Unidad	<i>Vicia faba</i> var. <i>minor</i>	<i>Vicia faba</i> var. <i>major</i>
Ácido fítico ¹	%	0,66	0,25
Glucósidos ²	%	2,4	0,12
Inhibidor de tripsina ³	mg/ g	0,4	0,37
Lectinas	%	0,29 ³	0,24 ¹
Taninos condensados ⁴	%	0,13	0,06
Taninos cáscaras ⁴	%	21,73	11,6
Taninos cotiledones ⁴	%	0,22	0,11

FUENTE: ¹CARNOVALE *et al.* (1988); ²CUBERO y MORENO (1983); ³MARQUARDT *et al.* (1975); ⁴BOOTH *et al.* (2001).

2.3.1 Inhibidores de la Tripsina. Con relación al nivel de inhibidor de tripsina en las semillas de habas, se han encontrado considerables diferencias dentro y entre los cultivares y poblaciones (WARSY *et al.* 1974; SALUNKHE *et al.* 1985; HEBBLETHWAITE, 1983). Se han encontrado en las habas sustancias que tienen la habilidad de inhibir la actividad proteolítica de ciertas enzimas (HUSSEIN, 1982). Estas enzimas digestivas son la tripsina y la quimiotripsina (CUBERO y MORENO, 1983).

Se considera a los inhibidores de tripsina como los principales responsables del pobre valor nutritivo de las semillas crudas de leguminosas, pero aplicándoles a éstas un tratamiento térmico adecuado, los inhibidores de tripsina disminuyen drásticamente (CUBERO y MORENO, 1983).

En general, los niveles de inhibidores de tripsina (o inhibidores de proteasa) son bastante bajos para que puedan influenciar en la calidad nutritiva del haba, ya que no se han encontrado correlaciones entre las actividad inhibidora de tripsina y el contenido de proteínas (HEBBLETHWAITE, 1983).

Comparando el nivel inhibitor de tripsina del haba (3,2 unidades /g) con el de soya entera (27 unidades /g), se ha mostrado que la soya tiene las concentraciones mas altas en inhibidor de tripsina (HUSSEIN, 1982; CUBERO y MORENO, 1983).

CUBERO y MORENO (1983), en estudios realizados en vitro, detectaron una gran variabilidad de la actividad antitriptica en el haba, con valores entre 0,5 - 250 unidades/ mg contenidos tanto en la testa como en los cotiledones.

La adición de extractos de haba ricos en tripsina en la dieta de animales en desarrollo no parece afectar en su crecimiento aunque hay un aumento del tamaño del páncreas (CUBERO y MORENO, 1983).

En varias investigaciones se han hecho tratamientos de calor en la semilla cruda de haba para inactivar los inhibidores de tripsina, y se ha encontrado que esta actividad se puede destruir por este proceso el cual debe estar en función del pH, temperatura, y duración del calentamiento. La destrucción completa de los inhibidores residuales de tripsina han sido solamente logrados con el ajuste del pH a 12,0 después de la exposición al calor a 70°C durante 1 hora (HUSSEIN, 1982).

Según HUSSEIN (1982), la actividad inhibidora de tripsina en las habas también es destruida por autoclave a 120°C por 20 minutos; por un cocimiento en la extrusión a 152°C, o por radiación de microondas a 107°C por 30 minutos.

En medio ácido con pH entre 2,5 y 4,0, la inhibidora de tripsina tiene una máxima estabilidad, pero calentando a 100°C por 1 hora no se tiene efecto en la actividad antitriptica (HUSSEIN, 1982).

2.3.2 Hemaglutininas (lectinas). Las lectinas pueden causar la coagulación de la sangre, pero se han encontrado diferencias de esta deficiencia en algunos cultivares tanto en habas como en legumbres en general (MARQUARDT *et al.*

1975; CUBERO y MORENO, 1983), siendo un poco mas baja que en las arvejas (CUBERO y MORENO, 1983).

Según Jaffé, citado por CUBERO y MORENO (1983), la acción de las lectinas es combinarse con las células de la mucosa intestinal causando una interferencia no específica con la absorción de nutrientes.

Según MARQUARDT **et al.** (1975) y CUBERO y MORENO (1983), toda la actividad de la hemaglutinina en el haba está asociada con el cotiledón. Esto varía según la variedad, pero en promedio alcanza valores de 4062,5 unidades de hemaglutinina/g de semilla entera (HUSSEIN, 1982). Se han encontrado niveles mucho mas bajos que en los contenidos en soya (SJÖDIN **et al.** 1981).

Las lectinas son proteínas que tienen una afinidad específica para ciertas moléculas de azúcar (HUSSEIN, 1982; SALUNKHE **et al.** 1985). La interacción de los componentes de lectina con glicoproteínas en las paredes de la superficie, ha sido manifestada *in vitro* por una aglutinización de las células. Las lectinas de haba específicamente interactúan con residuos de D-ramnosa y D-glucosamina en la superficie de los eritrocitos, mientras que las lectinas de soya actúan con residuos amino D-galactosa (HUSSEIN, 1982).

Las lectinas en general pueden retardar el crecimiento, y en casos extremos provocar la muerte en los animales que la ingieren (SALUNKHE **et al.** 1985).

Se ha encontrado que los niveles de lectinas en las habas son mucho mas bajos que los contenidos en el poroto y en soya. Además, se ha observado que el haba no tiene efectos negativos en relación al crecimiento en la alimentación de animales (HEBBLETHWAITE, 1983).

La marcada resistencia de la lectina ante la inactivación por calor seco llama la atención a investigadores cuando se adiciona una mezcla de harina de haba cruda y harina de trigo en ciertos alimentos (HUSSEIN, 1982).

2.3.3 Glucósidos. Los glucósidos vicina, convicina y dopa-glucósido se cree que son parte del “complejo favismo” el cual es responsable de la anemia hemolítica (HEBBLETHWAITE, 1983; CUBERO y MORENO, 1983).

Según Beutler; citado por CUBERO y MORENO (1983), el principal factor determinante de la hemólisis por ingestión de *Vicia faba* es la 3,4 dihidrofenilalanina (L (-) DOPA), y no es el responsable directo de la hemólisis, sino que es el precursor del factor hemolítico dopaquinona.

Rivoira **et al.**; citados por CUBERO y MORENO (1983), analizando el contenido de L (-) DOPA en semillas de variedades de *V. faba minor y major* encontraron que tienen una variación de 0,12 a 2,4%.

Se han encontrado pequeñas diferencias de glucósidos en las cáscaras, las cuales varían de 0 - 0,7%, pero se han encontrado mayores diferencias en el cotiledón (JAMALIAN, 1978).

2.3.4. Ácido fítico. La presencia ácido fítico (o también denominado hexafosfato de mioinositol) en las habas, ha llamado la atención en los últimos años porque este está implicado en las deficiencias de minerales. El contenido de fitatos en las semillas está sujeto a cambios de acuerdo a las condiciones de almacenamiento, temperatura, humedad y período de fermentación, esos niveles pueden ser exitosamente controlados por la tecnología (HUSSEIN, 1982).

La importancia nutricional deriva de su poder quelante de iones metálicos, calcio y magnesio, y de microelementos como hierro y zinc. No obstante, el fósforo contenido en los fitatos puede absorberse o ser reducido mediante una germinación de la semilla, debido a que este proceso activa o sintetiza la enzima fitasa (CUBERO y MORENO, 1983; ESKIN y WIEBE, 1983), la cual es capaz de hidrolizarse liberando fosfato inorgánico y fosfato inositol (ESKIN y WIEBE, 1983).

Según GRIFFITHS y JONES (1977), y CUBERO y MORENO (1983), en las habas existen diferencias entre cultivares que tienen niveles de fósforo entre 0,6 y 0,9%, pero alrededor del 40-60% de aquellos está en forma de fitato. El contenido

de fitato difiere entre los cultivares pero además, es influenciado por factores ambientales (HEBBLETHWAITE, 1983).

Los fitatos en la semilla reducen la biodisponibilidad mineral e interactúan con las proteínas alterando la solubilidad (SALUNKHE *et al.* 1985). Además, inhiben enzimas como la pepsina, α -amilasa y la tripsina (SALUNKHE *et al.* 1985).

El pericarpio de la semilla de haba junto con el embrión contienen entre 10 a 20 veces más de ácido fítico que el endosperma. En animales y en el ser humano, la eficiencia de utilización de ácido fítico es solamente de un 2 a un 10%. La presencia de fósforo fítico además parece aumentar ligeramente los requerimientos de vitamina D₃ en pollos y en otras especies de animales, ya que esta vitamina mejora ligeramente la digestibilidad de fósforo fítico (SALUNKHE *et al.* 1985).

2.3.5. Taninos. La testa de la semilla de numerosos cultivares de habas contienen taninos condensados de tipo pro-antocianina (HUSSEIN, 1982; CUBERO y MORENO, 1983), los cuales deprimen la materia orgánica y la digestibilidad de nitrógeno e inhiben la tripsina (HUSSEIN, 1982).

Existe una correlación entre la concentración de taninos en la testa de la semilla con la actividad inhibidora de tripsina, ya que se ha encontrado en las testas la actividad inhibidora de tripsina. La cáscara de haba es la que tiene un mayor nivel de inhibidores de tripsina (en promedio 6,6 unidades/g) comparado con los cotiledones (2,9 unidades/g). Mucha de la actividad inhibidora de tripsina en las cáscaras está atribuida a los taninos (HUSSEIN, 1982; CUBERO y MORENO, 1983).

Los taninos y sus glucósidos (taninos hidrolizables) inhiben una gran variedad de enzimas que ejercen su acción ya sea por inhibición directa o por formación de complejos no digeribles con las proteínas de los alimentos (HUSSEIN, 1982).

Los taninos pueden ser clasificados como una sustancia polifenólica que tiene un peso molecular mas de 500, y que son enzimáticamente hidrolizados por un azúcar residual y por un ácido fenol carboxílico (HUSSEIN, 1982).

2.3.6 Cianógenos. La distribución de los glucósidos cianogénicos es muy variable por especies, y dentro de ellas, siendo mas frecuentes en *Phaseolus*, *Vigna*, *Pisum* y *Vicia* (CUBERO y MORENO, 1983).

Varias leguminosas son potencialmente tóxicas por su contenido en glucósidos que, por hidrólisis, liberan cianuro (HCN) que se produce a partir de un glucósido por la acción de una enzima presente en los vegetales llamada β -glucosidasa (CUBERO y MORENO, 1983).

Eventualmente, el calor puede inactivar esta enzima responsable, pero parece ser que las enzimas de la microflora intestinal también puede liberar CNH de los cianógenos presentes en las habas cocidas (CUBERO y MORENO, 1983).

Las especies de *Vicia* no muestran presencia de goitrógenos (productores de bocio), factores antivitaminicos, inhibidores de amilasa pancreática y flavonas, y contienen muy bajas cantidades de alcaloides, saponinas y aminoácidos tóxicos (CUBERO y MORENO, 1983).

2.4 Procesamiento de las semillas de haba.

Aunque las habas contienen un amplio y diverso grupo de factores antinutricionales, los efectos de aquellos componentes son menos agudos que aquellos causados por tales factores en muchos otros granos de legumbres. Algunos de esos factores pueden ser eliminados por tratamiento de calor y otros por programas selectivos de reproducción (MARQUARDT, 1984).

Las semillas de haba necesitan ser procesadas para remover varios componentes tóxicos comúnmente presentes en estas semillas (TODOROV **et al.** 1996).

2.4.1 Eliminación de factores antinutricionales en semillas de haba. Se ha mostrado en varias investigaciones que el procesamiento en las habas mejora nutricionalmente el producto.

La testa de las habas tiene mucho más alta la concentración de sustancias inhibitorias que los cotiledones. Esto se ha manifestado por tratamiento térmico en semillas descascaradas en la que aumenta el peso ganado y la eficiencia alimenticia en un 8% (en aves) y además, para mejorar los valores nutricionales de las habas, el tratamiento térmico mejora la retención de otros nutrientes. La retención de materia seca, aminoácidos y extracto etéreo aumentan en un 32%, 17% y 5%, respectivamente cuando los taninos de las semillas se han tratado por calor (MARQUARDT, 1984).

Esos resultados demuestran que el tratamiento térmico mejora los valores nutricionales por una mejor digestibilidad en varios nutrientes incluyendo carbohidratos y proteínas (MARQUARDT, 1984).

Mc Nab, citado por CUBERO y MORENO (1983), determinó que un tratamiento a 120°C durante 60 minutos elimina la actividad de inhibidores de tripsina.

El tratamiento térmico también reduce el contenido de fibra a la quinta parte y provoca una destrucción de la actividad antitriptica en un 20% (CUBERO y MORENO, 1983). Estos efectos son principalmente asociados con la destrucción de un factor termolábil presente en la testa del haba (MARQUARDT, 1984; CUBERO y MORENO, 1983). Además del calor, el micronizado y la extrusión también disminuye la actividad antitriptica y la hemaglutinación (CUBERO y MORENO, 1983). El micronizado y la extrusión además producen un aumento de los carbohidratos disponibles y de la energía metabolizable. No se produce alteración en el patrón de aminoácidos, en especial de lisina, cistina y metionina (CUBERO y MORENO, 1983).

Además, la utilización del haba ha sido limitada por la presencia de algunos factores antinutricionales tales como taninos, vicina y convicina. Algunos procesos tales como germinación o tratamiento térmico pueden afectar los niveles

de estos componentes (MARQUARDT, 1984). Se han realizado procedimientos de aislamiento de vicina y convicina, la cual el alto contenido de almidón interfiere en su aislamiento (MARQUARDT, 1984). Por lo tanto, este procedimiento puede ser adaptado al aislamiento de esos componentes cuando la semilla esté en estado temprano para así tener bajas concentraciones de vicina y convicina y altas concentraciones de carbohidratos (PITZ *et al.* 1981).

2.5 Composición química de la harina de haba (*Vicia faba var. minor*).

En la última década se han desarrollado algunas líneas de haba con bajo contenido de factores antinutricionales, además, se ha estado mejorando su valor nutritivo conteniendo altos niveles de proteína (MARQUARDT, 1984).

ZEE *et al.* (1988) indicaron que el haba *Vicia faba var. minor* posee propiedades funcionales y fisico-químicas similares a las de la soya y que el contenido de lípidos del haba es más bajo (1,5%), comparado con la soya (21%). Según estos autores, la harina de haba presenta un contenido relativamente bajo de proteínas (<30% MS), pero es rica en carbohidratos (68,6%), siendo el principal el almidón y tiene un buen contenido de energía. Es una buena fuente de lisina, pero al igual que otras harinas vegetales provenientes de leguminosas, su contenido en metionina y triptofano es bajo.

En el CUADRO 9 se presenta la composición química del haba.

CUADRO 9 Composición química de la harina de haba (*Vicia faba var. minor*) descascarada.

	Sin cutícula (%)
Sólidos totales	95
Proteínas	27,3
Carbohidratos	68,6
Lípidos	1,0
Cenizas	4,5

FUENTE: ZEE *et al.* (1988).

La composición química de la harina de haba *Vicia faba var. minor* procedente del Estación Experimental Santa Rosa, Valdivia, X Región se observa en el CUADRO 10.

CUADRO 10 Composición química del haba (*Vicia faba var. minor*) con testa y descascarada.

	Con cutícula (%)	Sin cutícula (%)
Proteína	19,54 (N x 5,7) / 21,43 (N x 6,25)	22,66 (N x 5,7) / 24,85 (N x 6,25)
Lípidos	1,37	1,69
Cenizas	3,03	3,16
Materia seca	86,21	86,21
E.N.N.	62,27	62,63
Fibra	5,84	0,15

FUENTE: Laboratorio Centro Tecnológico del Salmón (CETECSAL), 2001.

2.6 Potenciales usos de la harina de semilla de haba.

El suministro de proteína suplementaria en alimentos para animales proviene fuertemente de la harina de soya, harina de pescado y harinas de carne y hueso, entre otras (HEBBLETHWAITE, 1983).

Aunque se ha trabajado mucho con la soya, existe un esfuerzo que ha sido dirigido hacia el mejoramiento de las habas para pienso y en los últimos años también hacia el lupino dulce. La información de esto en muchos países es mayor que en las habas, probablemente por su posición ya establecida en prácticas convencionales de agricultura (HEBBLETHWAITE, 1983).

El uso de habas para el consumo animal y humano tiene sin embargo, variaciones considerables a lo largo del tiempo por muchas razones; eso incluye problemas en el almacenamiento y la presencia de factores antinutricionales (HEBBLETHWAITE, 1983).

La gran ventaja del uso de haba como alimento para animales, es debido al buen contenido de proteína cruda de las semillas y partes vegetativas, su alta

productividad y su gran adaptabilidad a varios ambientes climáticos (TODOROV **et al.** 1996).

El grano de haba (*Vicia fava var. minor*) es usado como alimento en la engorda de todo tipo de ganado y vacas lecheras, cerdos, ovejas, pollos, conejos, etc., (TODOROV **et al.** 1996).

Según HEBBLETHWAITE (1983), el procesamiento de la semilla de haba ha sido de considerable interés, ya que podría ser usada en la elaboración de proteína texturizada para reemplazar parcialmente la carne de la dieta humana.

La harina de haba libre de sustancias antinutricionales también es usada en la alimentación humana, en la que el valor nutricional es considerable y su composición es similar al de la carne. De hecho, son a menudo llamada “la carne de los pobres” (ALI **et al.** 1981).

2.7 Uso de la harina de haba en alimento para salmónidos.

El reemplazo de la harina de pescado con ingredientes vegetales ricos en proteína en las dietas para peces, se ha llevado a cabo en diversos estudios, dado que la harina de pescado es la fuente proteica principal y uno de los constituyentes mas caros de las dietas comerciales para salmones y truchas (CARTER y HAULER, 2000). Debido a lo anterior, mucha atención ha sido enfocada hacia el uso de harinas vegetales para ser utilizadas en el reemplazo de la harina de pescado en la alimentación para los peces (SMITH, 1989; AKIYAMA, 1991; GOMES **et al.** 1993; GOMES **et al.** 1995; BUREL **et al.** 1998).

En general, la harina de pescado y las harinas de fuente de proteína vegetal son muy diferentes, en cuanto a la cantidad de proteína, el perfil de aminoácidos, el nivel de energía metabolizable, el contenido de minerales, etc. Además, tanto el haba como en general las fuentes de proteína vegetal contienen factores antinutricionales, los cuales pueden tener efectos desfavorables sobre el valor nutricional y la palatabilidad de las dietas (BUREL **et al.** 1998; TACON, 1995; NRC, 1993).

Las principales características que debe cumplir una fuente proteica alternativa para ser utilizada como sustituto de la harina de pescado para la alimentación de salmones es poseer al menos 350 g de proteína por kg^{-1} , un balance de aminoácidos que sean compatibles con los requerimientos del pez y una buena digestibilidad (HARDY, 1996; GOMES **et al.** 1995).

Generalmente, las proteínas vegetales presentan deficiencias de algunos aminoácidos esenciales (los azufrados, principalmente), tienen una digestibilidad variable ya que dependen de la especie que las ingieran, tienen menor energía y son bajos en fósforo, en comparación a las proteínas de origen animal (AKIYAMA, 1991). Además, difieren en su composición mineral, en su perfil aminoacídico, tienen diferencias en el contenido de fibra y en la disponibilidad de nutrientes, que son necesarios para el desarrollo y crecimiento del pez (BUREL **et al.** 2000).

La evaluación de los coeficientes de digestibilidad aparente de alimentos utilizados en dietas para peces es uno de los pasos más importantes en la formulación de una dieta balanceada para satisfacer los requerimientos nutricionales de los peces (CHO **et al.** 1982).

Entre los estudios realizados sobre la sustitución de harina de pescado por harina de haba se menciona a GOMES **et al.** (1995), quienes realizaron un estudio para obtener valores de los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de un número de ingredientes de origen vegetal y animal, para formular dietas basadas en los valores de CDA de los ingredientes, y para evaluar el mejoramiento del crecimiento de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), alimentadas con cuatro dietas, en las cuales la harina de pescado fue gradualmente reemplazada por una mezcla de otros ingredientes, pero teniendo los mismos niveles de proteína y energía digestible.

GOMES **et al.** (1995) formularon una dieta de referencia y determinaron los valores de CDA. Los CDAs de cada ingrediente de prueba fueron determinados en dietas en las cuales el 30% de la dieta de referencia fue reemplazada por cada ingrediente de prueba y entre ellos la harina de haba, harina de lupino, harina de arveja, harina de carne, harina de pescado, entre otros.

Posteriormente, estos autores realizaron el estudio de crecimiento usando los datos obtenidos de CDA de estos ingredientes de prueba. Se formularon cuatro dietas para el ensayo de crecimiento (100% con proteína animal, 100% con proteína vegetal y 33% y 66% con proteína vegetal, respectivamente).

De acuerdo a los resultados obtenidos, GOMES **et al.** (1995) llegaron a la conclusión de que los valores de CDA de las harinas de haba, lupino y arveja fueron similares en el contenido de materia seca (89,9%, 95,1% y 89,4%, respectivamente), de proteína (27,0%, 32,7% y 24,6%, respectivamente) y de energía (16,7, 18,4, 16,1 KJ/g; respectivamente), y además tuvieron valores nutritivos similares para la incorporación de dietas para salmónidos con respecto a la dieta de referencia. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos observados, entre el peso ganado y la tasa de crecimiento específico entre las truchas alimentadas con las dietas que contenían 100% proteína animal, 33% y 66% de proteína vegetal, respectivamente. Esos valores fueron significativamente mas altos que los valores de la dieta que contenía 100% de proteína vegetal. Tampoco se observaron diferencias significativas en la razón de alimento seco consumido/humedad de peso ganado y en la razón de eficiencia proteica (peso húmedo ganado/ proteína consumida) (GOMES **et al.** 1995).

Como se ha dicho al principio, la búsqueda de fuentes de proteínas alternativas para reemplazar a la harina de pescado ha sido el objetivo de numerosos estudios. Dentro de esas fuentes proteicas, algunas semillas de leguminosas han sido incluidas en las dietas para peces (de la Higuera y Cardenete; citados por GOUVEIA **et al.**, 1991).

GOUVEIA **et al.** (1991), realizaron un experimento llevado a cabo en dos etapas: una prueba de crecimiento y una prueba de digestibilidad. En la prueba de crecimiento, se alimentaron truchas arco iris (*Onchorhynchus mykiss*) para evaluar el valor nutritivo de harina de semilla de lupino, harina de semilla de arveja y harina de semilla de haba, como una alternativa para reemplazar la harina de pescado en la dieta de las truchas. A esas legumbres, se les incorporaron un 20% de proteína de la dieta con y sin los tratamientos de expansión/cocimiento (145°C,

25 kg/cm²), en seis dietas experimentales isoproteicas e isoenergéticas. Se determinaron los coeficientes de digestibilidad aparentes.

GOUVEIA **et al.** (1991) determinaron que después de la prueba de crecimiento, el peso promedio de los peces en todos los tratamientos fue significativamente más alto, con excepción de la dieta control y la dieta con la semilla entera de haba. En términos de la tasa específica de crecimiento, a los peces que fueron alimentados con dietas que contenían los tres granos mejoraron significativamente que aquellos peces alimentados con la dieta control que contenía solo harina de pescado. No se observaron diferencias significativas entre los CDAs de las proteínas y de los lípidos en los peces alimentados con las dietas que contenían harina de pescado y con las tres semillas de leguminosas, las cuales variaron entre 81,49% y 90,03% para el primero y entre 92,38% y 95,95% para los últimos.

GOUVEIA **et al.** (1991) determinaron que, especialmente para los tratamientos que contenían harina de haba y harina de arveja, la aplicación de un tratamiento térmico pareció tener una tendencia a mejorar la retención de nitrógeno. En relación de la composición de la testa, no hubo diferencias significativas entre la proteína cruda y la grasa cruda en los tratamientos que contenían las tres semillas de leguminosas.

Finalmente, GOUVEIA **et al.** (1991) concluyeron que la harina de semilla de arveja y la harina de semilla de haba son dos alternativas prometedoras de fuentes proteicas para la harina de pescado en la alimentación para las truchas. Mas aún, el tratamiento térmico mejora el valor nutricional de esas fuentes vegetales proteicas.

GRABNER y HOFER (1985), estudiaron la digestibilidad de la proteína del haba y la soya mediante experimentos de digestión en vitro simulando el tracto alimentario con los fluidos digestivos de la trucha arco iris.

GRABNER y HOFER (1985), prepararon los jugos digestivos a partir de los contenidos del estómago y del intestino de la trucha, y eliminaron los inhibidores de proteasa del haba y la soya por un tratamiento hidrotérmico.

En la caracterización de proteínas, GRABNER y HOFER (1985) encontraron que el contenido de proteína y de aminoácidos esenciales en las muestras de soya y haba, usadas para los experimentos de digestión en vitro, fueron muy similares: para la soya fue de un 31,5% y en haba fue de un 30,6% del peso seco consistente en proteínas. El contenido relativo de aminoácidos esenciales en las proteínas de soya y de haba fue 51,3% y 50,2%, respectivamente. Sin embargo, GRABNER y HOFER (1985), encontraron que existieron diferencias importantes en el contenido de arginina (siendo mas altos en el haba) y de metionina (siendo mas altos en la soya).

En la digestión en vitro del estómago de la trucha, GRABNER y HOFER (1985) encontraron que la digestión resultó ser de una hidrólisis parcial de las proteínas a péptidos sin un aumento de aminoácidos libres. La digestión de pepsina en la soya fue mas eficiente que en el haba. Después de 15 horas de digestión, un 27,1% del total de proteínas unidas a los aminoácidos de la soya fueron hidrolizados a péptidos, pero solamente un 10,8% fue en el haba.

En la digestión en vitro del intestino de la trucha, GRABNER y HOFER (1985) observaron que el cambio de las condiciones de pH en el estómago y tripas resultó de un considerable aumento en la solubilización de los péptidos. Al comienzo de la digestión intestinal, los péptidos de ambos granos representó sobre el 50% del total de aminoácidos y determinaron que ese nivel permaneció mas o menos constante hasta el final del experimento. Estos autores observaron que los aminoácidos son liberados mas rápido (34,6% con soya, y 41,4% con haba) y al final del proceso digestivo observaron que el contenido relativo del total de aminoácidos en la fracción insoluble fue un 7,1% en la soya y un 10,3% en el haba. Comparado con los experimentos de otra especie, por ejemplo con la carpa (*Cyprinus carpio*) esto significa una mejor digestibilidad en la proteína del haba bajo las condiciones simuladas del tracto alimentario de la trucha mientras que la digestibilidad con la soya es similar en estas especies (GRABNER y HOFER, 1985).

Según las citas de estos autores, la digestibilidad de las proteínas de ambos granos depende de su tratamiento. Las semillas del haba y de la soya contienen poderosos inhibidores de tripsina los cuales reducen su digestibilidad; además, el método por el cual los inhibidores son removidos puede influenciar la disponibilidad de los aminoácidos: un calentamiento en seco causa una reducida digestibilidad, así como la formación de un complejo lisina-carbohidrato, que es indigestible para el pez.

Finalmente, GRABNER y HOFER (1985) concluyeron que debido a la deficiencia de aminoácidos azufrados así como los niveles críticos de fenilalanina en la trucha, la proteína del haba es un poco mas baja que la soya. Pero por otro lado, en la trucha, la proteína del haba no es eficientemente menos digestible que en la soya. Estos autores determinaron que la digestión en vitro puede ayudar en la formulación de una dieta adecuada que contenga haba como una fuente de proteína. Como existen algunos otros factores, junto con la digestibilidad que influencia el valor de la proteína, el haba puede ser apropiadamente usada para experimentos para realizar una dieta para peces.

2.8 Requerimientos nutricionales de los salmónidos

Los alimentos contienen nutrientes y fuentes energéticas esenciales para el crecimiento del pez, su reproducción y salud (NRC, 1993, LOVELL, 1998). Deficiencias de aquellas sustancias pueden reducir las tasas de crecimiento o provocar enfermedades y, en algunos casos un exceso puede también causar una reducción en la tasa de crecimiento. Los requerimientos nutricionales en una dieta pueden ser establecidos como proteínas y aminoácidos, lípidos, carbohidratos, minerales y vitaminas (NRC, 1993).

2.8.1 Requerimientos energéticos. Los peces como los animales en general, necesitan energía para crecer, realizar sus actividades y reproducirse (COLL, 1991).

La energía no es un nutriente, ya que ésta se libera durante la oxidación metabólica de los carbohidratos, lípidos y aminoácidos (NRC, 1993; LOVELL, 1998). Por lo tanto, según LOVELL (1998) se debería hablar de energía nutricional o bioenergía, que también se considera como requerimiento nutricional. La energía nutricional es el estudio del balance entre la energía ingerida, en forma de alimento, y la utilización energética para procesos de mantención, actividad y síntesis de tejidos.

Los peces son poiquilotérmicos, es decir, mantienen la temperatura corporal de la ambiental, por lo que la tasa metabólica se altera con la variación de la temperatura del ambiente acuático. La tasa metabólica se expresa como el calor liberado o la tasa de oxígeno consumido. Los requerimientos de energía está en función de esta tasa metabólica, la cual varía con los cambios en la temperatura, el oxígeno disuelto y la concentración de anhídrido carbónico del agua, la especie del pez, la edad, el tamaño corporal, el grado de actividad y la composición de la dieta (CAÑAS, 1998).

Los peces son considerados como los organismos más eficientes para transformar el alimento en tejido corporal, en comparación con los animales terrestres, ya que los peces tienen la aptitud para asimilar dietas con porcentajes más altos de proteínas, debido a su bajo requerimiento energético. El pez tiene un requerimiento energético más bajo que los animales terrestres, a causa de que ellos tienen más bajos los requerimientos de mantención y más bajos el incremento de calor. La relación entre energía digestible y proteína digestible para una máxima ganancia de peso es, por lo tanto, menor en peces (8,5-12,3 kcal/g) (LOVELL, 1998). Los bajos valores de la relación energía-proteína no se deben a los altos requerimientos proteicos de los peces, sino que a un bajo requerimiento de energía (HALVER, 1989). De lo anteriormente dicho, los peces necesitan menos energía por unidad de proteína, aproximadamente un 10% que otros animales para mantención y excreción de nitrógeno, debido a que los peces son poiquilotérmicos y porque la degradación de las proteínas llega hasta el estado de

amoníaco y no de urea o ácido úrico como en aves o como en mamíferos (GILLAUME, 1991).

Un exceso o déficit de energía puede reducir el grado de crecimiento de los peces. Una dieta deficiente en energía en relación a la proteína puede significar que la proteína está siendo utilizada como energía para satisfacer las necesidades de mantenimiento, mientras que un exceso de energía en la dieta puede producir un menor consumo de alimentos, y por lo tanto, reduce la ingesta de energía necesaria y otros nutrientes nutricionales para un máximo crecimiento. Las raciones excesivamente altas de energía y nutrientes pueden causar depositaciones de grasa en el cuerpo de los peces, lo cual es indeseable (NRC, 1993). No obstante, este tipo de problemas no se presentan en la formulación de dietas comerciales, debido a que cuando se alcanzan los requerimientos proteicos para el pez, no se produce este exceso o déficit de energía, debido a que se ha demostrado que, al aumentar la concentración de energía dietaria, proporcionalmente también aumenta el porcentaje de proteína (LOVELL, 1998).

Los factores que afectan los requerimientos energéticos de los peces son: la actividad física, la temperatura del agua, la talla corporal, la especie, la edad del pez, la composición de la dieta y el grado de estrés, los que sin una operación adecuada de estos factores individualmente o en conjunto que promueven a un buen crecimiento del pez, podría causar el efecto adverso (HALVER, 1989).

Es difícil determinar cuales son los verdaderos requerimientos energéticos de los peces, siendo por ello útil conocer la energía disponible que estos tienen. Esta energía depende de cuán bien puedan digerir los diversos ingredientes en la dieta. Por esta razón, resulta conveniente determinar la energía digestible o la energía metabolizable de cada ingrediente (LOVELL, 1998).

2.8.2 Proteína y aminoácidos esenciales. La proteína es el componente más importante de la dieta para peces porque contribuye al crecimiento y si existe en exceso, puede constituir una fuente de energía de reserva (BUREAU y CHO, 1996; NRC, 1993, JOBLING, 1993; CAÑAS, 1998). Los resultados de estudios

realizados con salmónidos indican que el crecimiento óptimo se logra cuando aproximadamente la mitad de la energía alimenticia es suministrada de la proteína (JOBBLING, 1993).

La proteína es requerida en la dieta para proveer los aminoácidos esenciales y el nitrógeno para la síntesis de aminoácidos no esenciales. La proteína en los músculos del cuerpo incorpora sobre 23 aminoácidos y entre ellos, 10 aminoácidos (esenciales) son suministrados en la dieta, ya que el pez no puede sintetizarlos o no los puede sintetizar en suficiente cantidad para un máximo crecimiento. Los aminoácidos son necesarios para el mantenimiento, crecimiento, reproducción y crecimiento muscular (BUREAU y CHO, 1996; JOBBLING, 1993; LOVELL, 1998). Una gran proporción de los aminoácidos consumidos por los peces son catabolizados para la obtención de energía, estando éstos especialmente adaptados para utilizar el exceso de proteína por esta vía (HALVER, 1989).

Los requerimientos de proteínas disminuyen con la edad del pez (NRC, 1993; CAÑAS, 1998), o con el incremento de su tamaño (CAÑAS, 1998). El salmón requiere de aproximadamente 55% de proteína para su máximo crecimiento durante su etapa inicial de alimentación (juvenil), el que disminuye a un 45% después de 6 a 8 semanas y a un 40% al final de esta etapa (CAÑAS, 1998). Los requerimientos proteicos para los salmones, en términos de porcentaje de proteínas en la dieta, tienen relación específicamente con elevadas tasas de requerimientos proteicos para alcanzar rápidamente ganancias de peso (COWEY, 1984). Es por eso que durante el ciclo de cultivo de los salmones, los requerimientos proteicos son decrecientes, ya que la mayor parte de la energía para el mantenimiento y desarrollo lo obtienen a partir de los lípidos (HALVER, 1989).

Una deficiencia de la mayoría de los aminoácidos esenciales se expone a una disminución en el crecimiento y, por lo tanto en el peso ganado del pez. Sin embargo, una deficiencia de lisina y triptofano causa patologías, como erosión en la aleta dorsal/caudal (curvatura de la columna vertebral) y un aumento de la

mortalidad. Una deficiencia de metionina y triptofano causa cataratas y escoliosis en los salmónidos. La deficiencia de lisina causa erosión en la aleta caudal, aumento de la mortalidad y menor ganancia de peso (TACON, 1995).

Experimentalmente se ha determinado los requerimientos proteicos de varias especies de salmones del Pacífico en sus distintos estadios de desarrollo, estimándose que para las especies salmonídeas el rango es de 400 - 500 g prot/kg de dieta (HARDY, 1996), y además según LOVELL (1998), los requerimientos de proteínas estarían influenciados por varios factores, tales como la talla del pez, el contenido individual de aminoácidos de los ingredientes, los factores ambientales, como la sanilidad, la temperatura del agua, fotoperíodo, la calidad del agua, y si los peces se encuentran en agua dulce o agua de mar.

En el CUADRO 11, se presentan los requerimientos de aminoácidos esenciales del salmón del Pacífico o Coho (*Oncorhynchus kisutch*), del salmón del Atlántico (*Salmo salar*), y de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*).

CUADRO 11 Requerimientos de aminoácidos esenciales de los salmónidos (g aminoácido/ 100g de dieta).

Aminoácidos	S. del Pacífico	S. del Atlántico	T. arco iris
Arginina	2,3 ¹	1,6 ¹	2,8 ¹
Histidina	0,7 ¹	0,81 ¹	0,7 ²
Isoleucina	0,9 ²	0,9 ²	0,8 ²
Leucina	1,6 ²	1,6 ²	1,4 ²
Lisina	2,0 ²	2,0 ¹	2,9 ¹
Metionina	1,6 ²	1,14 ¹	1,6 ¹
Fenilalanina	2,0 ²	2,0 ²	1,8 ²
Treonina	0,9 ²	0,9 ²	0,8 ²
Triptofano	0,2 ¹	0,2 ¹	0,6 ¹
Valina	1,3 ²	1,3 ²	1,3 ²

FUENTE: ¹NRC (1993); ²HARDY (1996);

2.8.3 Carbohidratos. Los valores nutricionales de los carbohidratos varían según el pez (NRC, 1993), siendo bajos en términos generales (ARNESEN *et al.* 1989; THODESEN y STOREBAKKEN, 1998).

El carbohidrato más comúnmente encontrado en los alimentos para peces es el almidón, que es principalmente un polisacárido de cadena larga de origen vegetal. El gránulo de almidón de grano en bruto y los demás productos provenientes de las plantas son, en general pobremente digeribles por el pez, ya que los peces, en general tienen limitada la habilidad para hidrolizar el almidón en el intestino, y para regular las concentraciones de glucosa cuando los niveles digeribles de carbohidratos son altas (STOREBAKKEN, 2000; BUREAU y CHO, 1996). Sin embargo, la cocción del almidón durante la elaboración de pellet por extrusión, produce gelatinización y mejora su digestibilidad. No obstante, siempre que el almidón sea digerible, el pez sólo es capaz de utilizar una pequeña cantidad efectivamente, ya que los carbohidratos representan una menor fuente de energía para los peces (BUREAU y CHO, 1996; CAÑAS, 1988; KIM y KAUSHIK. 1992; JOBLING, 1993), ya que no son usualmente considerados como nutrientes esenciales para el crecimiento (JOBLING, 1993).

El almidón, es el único polisacárido capaz de ser ingerido por enzimas endógenas que poseen los salmones y por ende es el único carbohidrato que aporta cierta energía al pez (ARNESEN *et al.* 1989; GRISDALE-HELLAND y HELLAND, 1997), pero tradicionalmente, el almidón es usado para proveer las uniones necesarias para los alimentos extruídos en las dietas, además de ser una económica fuente de energía (STOREBAKKEN, 2000; JOBLING, 1993). El almidón, al ser sometido a cocción especialmente a extrusión, aumenta su digestibilidad, llegando a valores mayores a un 70% (STEFFENS, 1987).

Los peces no demuestran un requerimiento dietario de carbohidratos, no obstante, se sabe que si en la dieta no fueran suministrados, las proteínas y los lípidos serían catabolizados para la obtención de energía y para la síntesis de muchos componentes que derivan de los carbohidratos (NRC, 1993).

Los salmónidos y muchos otros peces no tienen o tienen muy poca capacidad para utilizar y asimilar los carbohidratos (BUREAU y CHO, 1996; NRC, 1993; CAÑAS, 1998), ya que poseen pocas enzimas disponibles para su digestión (NRC, 1993). Por esta razón el nivel recomendado de carbohidratos digestibles es de 8 a 12% en la dieta (CAÑAS, 1998; NRC, 1993). Aunque hay dietas comerciales que incluyen hasta un 16% de carbohidratos (NRC, 1993).

Los carbohidratos pueden servir como precursor para los aminoácidos, ácidos nucleicos, los cuales son intermediarios metabólicos para el crecimiento y para la síntesis de grasas (NRC, 1993). Si se suministra altas concentraciones de carbohidratos en la alimentación (20% o más), puede producir un aumento en el tamaño del hígado y en el contenido de glicógeno en los salmónidos (NRC, 1993; JOBLING, 1993), puede disminuir la digestibilidad y la utilización del alimento (ARNESEN *et al.* 1989; THODESEN y STOREBAKKEN, 1998).

STOREBAKKEN *et al.* (2000), determinaron que las fuentes proteicas vegetales deben ser investigadas desde el punto de vista de su digestibilidad por el pez, ya que como se comentó al principio, éstos tienen limitada la capacidad de hidrolizar el almidón en el intestino y regular la concentración de glucosa en la sangre cuando los niveles de carbohidratos son elevados. Estos autores recomiendan utilizar aglomerantes o hidrocoloides de alta digestibilidad para que así no se vean afectadas las digestibilidades de las proteínas y las grasas.

La digestibilidad de los carbohidratos está relacionada con la complejidad molecular. Así, los monosacáridos están más disponibles nutricionalmente para los peces en relación a los disacáridos y éstos más que los polisacáridos (CAÑAS, 1998). Esto se observa en el CUADRO 12, el cual se presenta el porcentaje de digestibilidad de carbohidratos en peces.

2.8.4 Lípidos. La incorporación de grasas en la dieta son importantes fuentes de energía y de ácidos grasos esenciales ya que son necesarios para el crecimiento normal y un buen desarrollo de los peces (JOBLING, 1993).

CUADRO 12 Digestibilidad de carbohidratos en peces.

Carbohidratos	Digestibilidad (%)
Glucosa	99
Maltosa	97
Sacarosa	70
Lactosa	60
Dextrina	60
Almidón extraído	70
Alfa-Celulosa	10

FUENTE: CAÑAS (1998).

Los lípidos en la dieta para salmones y truchas también son necesarios para evitar que se utilice la proteína como única fuente energética. De este modo, las grasas constituyen la fuente de energía más importante para los peces, supliendo además la ineficiente absorción de los carbohidratos. Los salmonídeos tienen también un requerimiento de fosfolípidos, que en dietas normales se encuentran presentes en cantidades adecuadas por lo que no es necesario suministrarlos en forma complementaria (CAÑAS, 1998). Sin embargo, las grasas, ayudan a la absorción de vitaminas liposolubles (A, D y E), que son necesarias para el desarrollo y crecimiento normal de los peces (NRC, 1993; VALENZUELA y GARRIDO, 1998; CAÑAS, 1998; JOBLING, 1993). También colabora con los elementos estructurales en células de las membranas y como precursor de la síntesis de un número de hormonas y pigmentos (JOBLING, 1993).

El NRC (1993) menciona que los peces al igual que otros vertebrados no pueden sintetizar los ácidos grasos linoleico (18:2 n-6) y linolénico (18:3 n-3) nuevamente (*o de novo*), por lo tanto son considerados ácidos grasos esenciales.

Otros ácidos grasos esenciales que se encuentran en los peces que deben resistir grandes variaciones de salinidad son los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, principalmente el eicosapentaenoico (EPA), C20:5 omega-3 y el docosahexaenoico (DHA), C22:6 omega-3, que pertenecen a la familia de los

ácidos grasos llamados omega-3 (n-3) y que se encuentran exclusivamente en aceites de origen marino (HALVER, 1989).

El salmón del Atlántico tiene la habilidad fisiológica de concentrar selectivamente los ácidos grasos cuando recibe una cantidad suficiente de estos en el alimento, independiente del tipo de aceite que predomine su dieta. Por ende, el uso de aceites de pescado no es tan indispensable en la elaboración de dietas que tengan muy altos los contenidos de ácidos grasos omega-3, ya que se pueden sustituir éstos por ácidos grasos de origen vegetal como fuente alternativa de los lípidos de origen marino (HARDY, 1987). Además, el aceite de pescado contiene una alta proporción de EPA y DHA, que son esenciales para el sistema cardiovascular, la construcción del tejido nervioso, la correcta formación de la retina y el fortalecimiento del sistema inmunológico (CHILE, FUNDACIÓN CHILE, 1998; NRC, 1993).

Se ha observado que los salmones tienen la capacidad de convertir el ácido linolénico en ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, principalmente EPA y DHA, por medio de una serie de reacciones de elongación y desaturación (introducir dobles enlaces) de ácidos grasos de estructura más simple a ácidos grasos de cadena larga mas insaturados de la misma serie, pero la utilización de aceites marinos proporciona mejores resultados (BUREAU y CHO, 1996; VALENZUELA y GARRIDO, 1998; NORDRUM **et al.** 2000).

Deficiencias de ácidos grasos esenciales en la dieta, en general produce un desarrollo y crecimiento lento, aletas quebradizas, despigmentación de la piel, “síndrome de shock”, miocarditis, aumento del líquido del músculo, hígado pálido o hinchado, necrosis de la aleta caudal, un bajo nivel de hemoglobina, aumento de la mortalidad, y aumento de las concentraciones de C20:3 omega-9 que son incorporados entre los tejidos musculares lípidos polares en lugar de C20:4 omega-6, C20:5 omega-3 o C22:6 omega-3 (CAÑAS, 1998; LOVELL, 1998; NRC, 1993; HALVER, 1989; TACON 1985).

De lo anteriormente dicho, la inclusión de 1 a 2% de ácidos grasos ω -3, en la dieta para truchas y salmones es suficiente para un buen desarrollo y

crecimiento, para prevenir la aparición de signos que indiquen deficiencias de ácidos grasos esenciales. Cualquier ácido graso de esta familia sirve para prevenir la aparición de signos deficientes (HARDY, 1987; LOVELL, 1998). Aunque, estos niveles pueden ser inadecuados si la dieta contiene grandes cantidades de ácidos grasos omega-6 (abundantes en aceites vegetales). De esto, se ha establecido que, el 20% de los lípidos dietarios sea del alfa linolénico (C18:3 omega-3) o el 10% de los lípidos dietarios sean de los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, el eicosapentaenoico (EPA), C20:5 omega-3 y el docosahexaenoico (DHA), C22:6 omega-3 (NRC, 1993; JOBLING, 1993).

2.8.5 Vitaminas. Cualitativamente, los requerimientos vitamínicos de los salmones son similares al de los animales terrestres, debido a las mismas funciones fisiológicas que éstas cumplen. Los requerimientos tanto en vitaminas liposolubles (que se metabolizan lentamente y se pueden almacenar en el cuerpo), como hidrosolubles (que se pueden metabolizar más rápido), son prácticamente iguales para las diferentes especies de peces (STEFFENS, 1987; WOODWARD, 1994; KAUSHIK *et al.*, 1998).

Las vitaminas son generalmente definidas como un componente esencial en la dieta, son componentes orgánicos distintos de los aminoácidos, carbohidratos y lípidos la cual se requiere solamente mínimas cantidades provenientes de fuentes exteriores, que juega un rol catabólico aunque no mayor (BUREAU y CHO, 1996; NRC, 1993; JOBLING, 1993), y que son requeridas de las mismas 15 vitaminas en la dieta para un crecimiento, reproducción y salud normal, pero cuantitativamente los requerimientos varían dependiendo de la especie (NRC, 1993).

Las vitaminas hidrosolubles presentan el inconveniente que al estar contenidas en el alimento pueden perderse por lixiviación antes de que el pez lo ingiera, ya que en términos generales, mientras menor sea el tamaño de la partícula alimenticia y mayor sea el período que permanezca sin ser consumida, mayor será la pérdida de los nutrientes hidrolizables (TACON, 1995). Las

vitaminas del complejo B, son requeridas en pequeñas cantidades, y tiene como función principal de coenzima. Las vitaminas hidrosolubles colina, inositol y vitamina C, son requeridas en grandes cantidades y además de ser de coenzimas, tienen otras funciones (NRC, 1993; JOBLING, 1993). En truchas se ha encontrado que una deficiencia de colina en la dieta desarrolla una coloración amarillo-claro en el hígado, ojos salidos, anemia y abdómenes extendidos. Una deficiencia de inositol provoca disminución del apetito, anemia, erosión en las aletas, coloración oscura en la piel, baja digestión. Un déficit de vitamina C produce un menor consumo de alimentos, menor crecimiento, anemia y problemas a nivel de la espina dorsal (lordosis y escoliosis), por lo que el ácido ascórbico es esencial en las dietas de salmones y truchas. Además, en grados de estrés (durante la etapa smolt después de la transferencias al mar), debe aumentarse el suministro de vitamina C (NRC, 1993).

Las vitaminas liposolubles requeridas para los peces, son las de grupo A, D, E y K (NRC, 1993; JOBLING, 1993), y tiene la característica de poder ser acumuladas por los peces, llegando a ser hasta tóxicas cuando son ingeridas en cantidades mayores a las necesidades metabólicas, generándose una hipervitaminosis con signos tales como la disminución del crecimiento, disminución de los eritrocitos de la sangre (Vit. E), lordosis, hígado amarillo pálido, aumento de la mortalidad, entre otros (TACON, 1995).

Por lo tanto, la carencia de las diversas vitaminas provoca grandes problemas metabólicos que reciben el nombre de avitaminosis, y causa menores crecimientos, anorexia, hemorragia en las aletas, entre otros, y muchas veces provoca muerte. La principal causa de deficiencias vitamínicas podría deberse a factores antivitamínicos presentes en los ingredientes utilizados para elaborar las dietas que no han sido tratados adecuadamente, ya que la mayoría se destruye por efecto del calor, entre otros, o por factores ambientales que afectan su estabilidad (Liener, citado por TACON, 1995).

Estas vitaminas son incorporadas a la dieta, en una premezcla vitamínica o “premix” y en la mayoría de los casos se necesita un exceso de estas vitaminas,

gya que presentan considerables pérdidas causadas por la oxidación, provocadas por la humedad y/o por el calor, y la rancidez de aceites y grasas, que conduce a la destrucción de ciertas vitaminas, esto es especialmente preocupante en el tratamiento térmico que se produce en el peletizado y extruido (NRC, 1993; CAÑAS, 1998).

En el CUADRO 13, se presenta los requerimientos de vitaminas de los salmónidos.

CUADRO 13 Requerimientos de vitaminas recomendadas para los salmónidos.

Vitaminas	Requerimientos
Liposolubles:	
A (IU/ kg)	2500
D ₃ (IU/ kg)	2400
E (IU/ kg)	30
K (mg/ kg)	10
Hidrosolubles (mg/ kg):	
Tiamina (B ₁)	10
Riboflavina (B ₂)	20
Niacina (B ₃)	150
Ácido pantoténico (B ₅)	40
Piridoxina (B ₆)	10
Ácido ascórbico (C)	50
Biotina (H)	1
Ácido fólico (B ₉)	5
Cianocobalamina (B ₁₂)	0.02
Colina	3000
Mio-inositol	400

FUENTE: NRC (1993); TACON (1995); BUREAU y CHO (1996).

2.8.6 Minerales. Los peces pueden absorber ciertos minerales (elementos inorgánicos) no solamente proveniente de su dieta, sino que además de su medio acuático por medio de las branquias y la piel (NRC, 1993, BUREAU y CHO, 1996). Esto último es una ventaja para las especies de agua salada porque a partir de éstos los peces pueden absorber todo lo que necesitan, a diferencia de las especies de agua dulce, donde los minerales deben proporcionarse a través del alimento (CASTRO, 1989).

En el agua hay suficientes concentraciones de calcio, sodio, potasio, magnesio y cloruros para que el pez absorba y cubra sus requerimientos. La totalidad de los requerimientos de otros minerales pueden, en general, ser complementados en la dieta, a través de una premezcla de vitaminas y minerales (NRC, 1993; BUREAU y CHO, 1996; CAÑAS, 1998).

Los minerales en la dieta cumplen varios roles, ya que son los responsables en la formación del esqueleto (espinas), la circulación sanguínea, la respiración, la digestión, la asimilación y la excreción del alimento (NRC, 1993; CAÑAS, 1998). También regulan el equilibrio ácido-base, son componentes de hormonas y enzimas, son requeridos en los procesos de osmorregulación y para varias funciones metabólicas, y facilita a que los peces vivan en un equilibrio dinámico con el medio acuático (HALVER, 1998; NRC, 1993).

Los minerales más importantes en la nutrición de los salmónidos en general son el azufre, calcio, magnesio y fósforo. En trazas se encuentran otros como: cobre, manganeso, sodio, potasio, hierro, yodo y flúor (TACON, 1995).

La carencia de minerales en los peces de cultivo intensivo puede presentarse por la ausencia de un “premix” adecuado en la dieta de macroelementos u oligoelementos (TACON y DE SILVA, 1983), por una disminución de la disponibilidad biológica de minerales por desequilibrios alimentarios, o por la interacción de algunos minerales con otros ingredientes, como la fibra o el ácido fítico, ya que una deficiencia de los minerales esenciales en la dieta puede provocar un crecimiento reducido, desmineralización de los huesos del esqueleto, anorexia, cataratas, calcicosis renal, degeneración de las

fibras musculares, aumento de calcio y disminución excesiva del contenido de ceniza y magnesio, aumento de la mortalidad, entre otros (TACON,1995).

Al igual que las vitaminas, los minerales que se requieren para la elaboración de alimento para peces son abastecidos en el “premix”. Por lo tanto, es muy importante conocer la composición de minerales de las materias primas con las que se fabricará el alimento, ya que la adición del “premix” de minerales aporta los elementos necesarios para los peces; con eso se puede determinar si el alimento será o no deficiente en uno de ellos (RICHE y BROWN, 1996).

En el CUADRO 14, se presenta los requerimientos de minerales de los salmónidos.

CUADRO 14 Requerimientos de minerales de los salmónidos.

Minerales	Requerimientos (mg / kg de alimento)*
Calcio (Ca)	10.000
Cloro (Cl)	9.000
Potasio (K)	7.000
Sodio (Na)	6.000
Fósforo (P)	6.000
Magnesio (Mg)	500
Fierro (Fe)	60
Zinc (Zn)	30
Manganeso (Mn)	13
Cobre (Cu)	3
Iodo (I)	1,1
Selenio (Se)	0,3

* Requerimiento en la ausencia de minerales específicos en el agua.

FUENTE: BUREAU y CHO (1996).

2.8.7 Digestibilidad de los ingredientes. Los valores de digestibilidad son marcadamente afectados por el tratamiento por el cual un ingrediente es sometido para la elaboración de alimentos para peces (JOBILING, 1993), y el conocimiento

de la digestibilidad o energía digestible de las materias primas que se utilizarán en la elaboración del alimento del pez se debe combinar además con antecedentes tales como especie para la cual se elaborará el alimento, su edad y estado fisiológico, factores químicos y físicos del alimento, procesamiento previo y manejo de las materias primas y el nivel de alimentación que se desea conseguir (CAÑAS, 1998). Por lo tanto, la biodisponibilidad de nutrientes o energía aportados por un ingrediente para los peces puede ser definida principalmente en términos de digestibilidad. La digestibilidad, es la fracción de nutrientes o energía, ingeridos de los ingredientes que no son excretados como fecas (NRC, 1993, JOBLING, 1993; LOVELL, 1998), y básicamente se puede definir como una medida biológica de la calidad de los alimentos (HALVER, 1989; RODEHUTSCORD *et al.*, 2000).

Nutricionalmente, para los peces es correcto hablar de digestibilidad aparente y no metabolizable, ya que es más difícil medir la porción de nutrientes metabólicos fecales que son excretados a través de las orina y branquias (GILLAUME, 1991).

El valor nutricional de un ingrediente, es basado no solamente en su composición química, sino también en la cantidad de nutrientes o energía que el pez puede absorber y usar (NRC, 1993; CAÑAS, 1998).

La elaboración y actualización de tablas sobre coeficientes de digestibilidad de los materiales más utilizados en la elaboración de alimentos para diferentes especies de peces, son fundamentales para la obtención de dietas que permitan un mejor aprovechamiento del alimento, una mayor energía disponible para el pez y por lo tanto, mayores tasas de crecimiento (AKIYAMA, 1991).

Los requerimientos de energía digestible base para la trucha arco iris y salmón Coho son 3.600 Kcal/ kg de dieta (NRC, 1993).

2.9 Principales ingredientes usados en la formulación de dietas para salmónidos

El principal objetivo que se plantea en la formulación de dietas para salmones es lograr obtener una mezcla nutricionalmente balanceada, es decir,

que soporte los requerimientos de mantención, crecimiento y reproducción del organismo. Además, debe ser económica, de buena aceptación, altamente digestible, hidroestable, que minimice la cantidad de desechos y sus efectos sobre la calidad de las aguas, y finalmente que se logre obtener el producto final deseado (NRC, 1993). Pero también son necesarios ciertas consideraciones prácticas, tales como la disponibilidad y precio de los ingredientes que serán utilizados, con qué frecuencia se lleva a cabo la alimentación, los factores antinutricionales presentes en las materias primas, si el alimento será pelletizado o extruído, y los requerimientos de almacenamientos y manipulación del producto terminado (GUILLAUME, 1991; HEEN *et al.* 1993; BUSHMAN, 1998). Entre los ingredientes de una dieta extruída estándar se tiene que los principales son:

- La harina de pescado, que es la principal fuente de proteína en la dieta y constituye un buen aporte de vitaminas y minerales. Su incorporación es variable, ya que ha alcanzado niveles de 52 a 53%, y de 60 a 65% (CHILE, FUNDACIÓN CHILE, 1998), hasta 73% (HARDY y CASTRO, 1994).
- La harina de trigo y de gluten de maíz, que aportan proteínas y carbohidratos. Estas harinas se utilizan sobre todo como aglutinantes, entre un 10 y un 15% (CHILE, FUNDACIÓN CHILE, 1998), y entre un 10 a 20%, respectivamente (HARDY y CASTRO, 1994).
- El aceite de pescado, que es la principal fuente de energía y aporta los ácidos grasos esenciales, el cual su incorporación requiere de un 5% (HARDY y CASTRO, 1994).
- Los microingredientes (pigmentos, premezclas de vitaminas y minerales, inmunoestimulantes y aditivos en general), cuya participación bordea el 5% (CHILE, FUNDACIÓN CHILE, 1998).

La industria productora de alimentos para peces cuenta con catálogos que proporciona la información necesaria para saber acerca de la calidad nutritiva de las dietas que está ofreciendo. Ya que se pretende formular dietas que teóricamente se igualen a las dietas comerciales, estos catálogos otorgan la

composición proximal y nutritiva de las dietas que ofrecen, información que será de gran utilidad para la formulación de las dietas teóricas de este presente trabajo.

2.10 Uso de la programación lineal en la formulación de dietas para salmónidos

La formulación de dietas es optimizada con la programación lineal, que es comúnmente usada para obtener dietas de mínimo costo para peces y otros alimentos de animales y humanos (NRC, 1993).

Para resolver el problema de optimización, que puede ser de minimización de los costos o maximización del uso de determinados componentes, existe una herramienta de apoyo para la toma de decisiones, conocida como programación lineal (DAVID y PAMELL, 1997). Según CAÑAS (1998), la programación lineal se define como: “el análisis de problemas en que se busca encontrar el máximo (o el mínimo) de una función lineal de varias variables sujetas a cierto número de restricciones que tienen la forma de desigualdades lineales”.

Para la resolución de problemas de programación lineal, existen los métodos gráficos y los modelos matemáticos que se resuelven a través de programas computacionales como el LINDO (“**L**inear **I**nteractive **D**iscrete **O**ptimizer”), muy útiles cuando se tienen mas de tres variables, algo muy característico en la formulación de alimentos, que permiten elaborar raciones balanceadas de mínimo costo (SCHRAGE, 1997). El procedimiento matemático repetitivo que utiliza la programación lineal para obtener un resultado óptimo es el conocido como “*simplex*”, método de prueba-error, que se basa en el álgebra matricial. Este método permite conocer la estabilidad de la solución encontrada entre cambio de precios, alternativas de producción y costos de oportunidad de cada recurso o variable, a través de un análisis paramétrico (MOREIRA, 2001).

Esta herramienta es la que se utilizará en el presente trabajo, por su aplicabilidad tanto en la formulación de las dietas como por su facilidad para interpretar los resultados obtenidos.

2.11 Antecedentes necesarios para el uso de la programación lineal en la formulación de dietas para salmónidos

Para el uso de programación lineal en la formulación de dietas para peces, se debe disponer de la siguiente información:

- Requerimientos nutricionales de los salmónidos (requerimientos de energía digestible, energía neta, proteína, aminoácidos, ácidos grasos esenciales, fibra cruda, fósforo, etc.).
- Composición química y de aminoácidos, y de energía digestible de los ingredientes que serán utilizados en la dieta.
- Las restricciones en cuanto al contenido o concentración de ciertos ingredientes en la dieta que pueden ser dañinos o indispensables para la especie que se está formulando, y la composición química que debe tener la dieta.
- Costo de los ingredientes utilizados en la formulación y el costo de la ración.
- Toda información debe ser coincidente en unidades y cómo será entregada a la dieta, es decir si se trabajará en base seca, base tal cual, etc.

2.11.1 Antecedentes de los requerimientos nutricionales de los salmónidos.

En el CUADRO 15, se presenta un resumen de requerimientos de los principales aminoácidos esenciales, energía digestible, ácidos grasos y fósforo de los salmónidos en agua de mar.

2.11.2 Antecedentes de la composición química y de los aminoácidos de los ingredientes. La composición química de los ingredientes es indispensable en la calidad final de una dieta, aunque los aspectos biológicos tales como la digestibilidad y la disponibilidad de la utilización de nutrientes resulta mas importantes que la composición química (HARDY, 1998).

El conocimiento de la composición nutritiva de los ingredientes es fundamental para la formulación de dietas que suplan los requerimientos de los peces (CAÑAS, 1998).

CUADRO 15 Principales requerimientos nutricionales de los salmónidos.

Aminoácidos (g /100 g de dieta)	S. Coho	S. del Atlántico	T. arco iris
Arginina	2,3	1,6	2,8
Histidina	0,7	0,81	0,7
Lisina	2,0	2,0	2,9
Metionina	1,6	1,14	1,6
Triptofano	0,2	0,2	0,6
Energía digestible (MJ/ kg)	15,06	-	15,06
Ácidos grasos EPA y DHA	10	10	10
(% de los lípidos dietarios)			
Fósforo (% de la dieta)	0,6	0,7	0,6

FUENTE: NRC (1993); JOBLING (1993); HARDY (1996).

En el CUADRO 16, se presenta la composición de los ácidos grasos eicosapentaenoico (EPA) y el docosahexaenoico (DHA) de la harina y el aceite de pescado.

CUADRO 16 Composición de ácidos grasos EPA y DHA de la harina y aceite de pescado.

Ácidos grasos (%)	Harina de pescado ¹	Aceite de pescado ²
EPA y DHA	1,74	25,8

FUENTE: ¹ANDERSON *et al.*, (1997); ²NRC (1993).

La harina de pescado tradicionalmente es considerada como la mayor fuente proteica utilizada en alimentos para peces, ya que satisface los altos requerimientos de proteína (25-55%) es rica en aminoácidos esenciales, especialmente en lisina y los azufrados, y es una buena fuente de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, especialmente en DHA y EPA (ANDERSON *et al.* 1993). En dietas para salmones, sus niveles de inclusión exceden el 50% aportando alrededor de un 70% del total de la proteína dietaria (HARDY y CASTRO, 1994).

La composición proximal y de fósforo de la harina de pescado se presenta en el CUADRO 17.

CUADRO 17 Composición química de la harina de pescado.

Composición	% base húmeda ^a	Promedio ^b
Humedad	7,5 - 10	8,0
Proteína	65 - 70	69
Lípidos	10	8,5
Cenizas	14 - 15	14,5
Fósforo	2,4	2,4

FUENTE: (^a), (^b).

La harina de pescado utilizada en la industria de alimentos para salmónidos debe tener un alto contenido de aminoácidos esenciales, debe ser de alta calidad (calidad “Premium”), y con un alto contenido de proteína. Por lo tanto, debe tener ausencia de factores antinutricionales que puedan estar presentes en las proteínas (ROMERO *et al.* 1994). También es una rica fuente de energía, de ácidos grasos esenciales y minerales (NRC, 1993). Chile produce harina de pescado de excelente calidad por lo cual el mercado internacional paga en precios “Premium”, siendo por lo tanto, altos (ROMERO *et al.* 1994). Por lo tanto, la calidad de la harina de pescado usada en Chile en dietas para salmones es un factor crítico. Las harinas de pescado chilenas se elaboran a partir del jurel o de la anchoveta, pudiendo ser una mezcla de estas dos especies o en forma individual (HARDY y CASTRO, 1994). El principal inconveniente de la harina de pescado es su alto contenido de ceniza y fósforo, este último principal causante de problemas de eutroficación de las aguas (SUGIURA *et al.* 1998).

El aceite de pescado, al igual que la harina de pescado, tiene un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, tales como los ácidos

^a Sr. Alejandro Beltrán. Biólogo Marino. Pesquera Bío-Bío S.A. Comunicación personal.

^b Sergio Silva P. Médico Veterinario. Jefe de Investigación y Desarrollo. CETECAL S.A. Comunicación personal.

EPA y DHA, lo cual si los peces son alimentados con dietas formuladas en la que contenga aceite de pescado como la mayor fuente de lípidos, se espera que durante el almacenamiento de lípidos en la carne del pez contenga altos niveles de éstos. Además, se ha demostrado que el aceite de pescado incorporado en la formulación de dietas en peces de cultivo, es similar a los perfiles de ácidos grasos en los peces salvajes. Hoy en día, la producción mundial del aceite de pescado parece ser el mas adecuado para satisfacer las demandas de la industria de la acuicultura, y es por eso la existencia de la introducción de grasas vegetales o animales en las dietas para salmónidos (JOBBLING, 1993).

La harina de trigo integral, tiene un contenido de almidón nativo la cual es limitada para ser hidrolizada por los salmones, sin embargo, ésta es considerablemente mejorada mediante un tratamiento térmico y por la gelatinización del almidón en la alimentación para truchas. Aunque en el salmón del Atlántico se ha obtenido una hidrólisis eficiente del almidón precocido con una baja inclusión de almidón en los niveles de dieta, la digestibilidad disminuye con el aumento de la inclusión en las concentraciones de las dietas y parece ser limitadas cuando las concentraciones en las dietas exceden los 90 g/kg (THODESEN y STOREBAKKEN, 1998).

Entre los ingredientes que se utilizarán en el presente trabajo están el ingrediente proteico I (IPI), el ingrediente proteico II (IPII), el ingrediente proteico III (IPIII), y el ingrediente proteico IV (IPIV, los que se presentan a continuación.

°El ingrediente proteico I es ideal para un mejor rendimiento proteico en la conformación del alimento balanceado tanto para consumo animal como para peces. Es una excelente y económica fuente de proteína vegetal para la alimentación, debido a su equilibrada composición aminoacídica como también en un bajo costo de unidad proteica. Además resulta de una buena palatabilidad. Según LOVELL (1998), es la mayor fuente de proteína vegetal que se usa en las industrias elaboradoras de alimentos para peces. Este autor, basándose en los

° <http://www.traders-services.cl>. 12/03/2002

requerimientos propuestos por el NRC (1993), postula que la proteína de este ingrediente está en cantidades suficientes de aminoácidos esenciales requeridas por varias especies. Es importante mencionar que este ingrediente, es limitante en algunos aminoácidos, especialmente en metionina. Aunque es considerado que los contenidos de calcio y fósforo son menores, lo que significa un factor positivo, otros minerales como el zinc se encuentra unido a la molécula de ácido fítico, lo cual disminuye su biodisponibilidad, y debido a la importancia nutricional del zinc en las dietas de los salmónidos, este debe ser suplementado cuando sea necesario (AKIYAMA, 1991).

El ingrediente proteico II, tiene un contenido proteico entre 85% y 87%, siendo uno de los alimentos más ricos en proteína para la alimentación animal, pero dada su naturaleza queratinosa, se hace totalmente indigestible en su estado nativo, siendo necesario someterla a fuertes procesos de cocción ya sea por vapor y/o altas presiones (HARDY, 1998). Varias empresas de alimentos para salmones la utilizan en sus formulaciones (CHILE, FUNDACION CHILE, 1995), y según el NRC (1993), tiene una digestibilidad entre 52,4 -70,5%, para la trucha arco iris.

El ingrediente proteico III, es conocido como un ingrediente que tiene la propiedad de tener una alta palatabilidad y digestibilidad para los salmónidos al ser incluido en dietas donde se ha reemplazado una parte de la harina de pescado por este ingrediente (LI, 1998; BUREAU y CHO, 1996). Se ha demostrado que nutricionalmente se complementa muy bien con la harina de soya en la alimentación para la trucha arco iris y el salmón del Atlántico y que puede ser remplazada ya sea sola o mezclada con soya, por la harina de pescado en altas concentraciones sin tener algún efecto que perjudique al pez (BUREAU y CHO, 1996). Al igual que el ingrediente proteico IV, este ingrediente actúa como una fuente de proteína vegetal y en facilitar la unión del pellet, por lo tanto actúa como agente aglutinante.

El ingrediente proteico IV, actúa como una fuente de proteína de origen vegetal y en facilitar la unión del pellet. El uso de uniones hidrocoloidales no

digestivos en alimentos resultan de una reducida digestibilidad de proteínas y grasas. Tales problemas no se han visto con este ingrediente, ya que es digestible. El IPIV es una fuente proteica altamente digestible, ya que Pfeffer **et al.** citados por STOREBAKKEN **et al.** (2000), encontró una digestibilidad aparente del 99% de proteína cruda cuando alimentaba con una dieta con 92,7% de este ingrediente y 1,45% de lisina a la trucha arco iris. En muchas investigaciones se ha demostrado que el IPIV puede reemplazar exitosamente a la harina de pescado en dietas para trucha arco iris si se les suplementa en la dieta con lisina, el primer aminoácido limitante. Se han encontrado, que la incorporación de este ingrediente en la dieta para la trucha arcoiris no afecta al sabor ni a la pigmentación de los filetes, y que además se considera entre los mejores ingredientes con respecto a la disponibilidad de Ca, Fe, K, Mg, P, Sr, y Zn (STOREBAKKEN **et al.** 2000).

Una suplementación con premezclas vitamínicas contiene los niveles mínimos según la cantidad requerida del NRC (1993), y suficientes para una rápida y máxima ganancia de peso en los peces (KAUSHIK **et al.** 1998).

En general, las harinas de origen vegetal son fuentes ricas en el complejo vitamínico B, además de otras vitaminas, también tiene un buen contenido de proteínas y minerales, por lo que al ser incorporadas a la dieta como suplemento permiten abaratarla. Los vegetales más usados en la formulación de dietas son la harina de germen de trigo, la harina de trigo, afrecho de maravilla, harina y aceite de soya, harina de alfalfa, harina de gluten de maíz, harina de canola, entre otros. Estas podrían reemplazar parcialmente la harina de pescado en la dieta, pero debe ser suplementada con ciertos aminoácidos, cuando es usada como única fuente de proteína en la dieta (CAÑAS, 1988).

En el CUADRO 18, se muestran la composición química proximal y de fósforo de la harina de trigo integral, los ingredientes IPI, IPII, IPIII, IPIVI, el arbocel y el premix de vitaminas y minerales (% en base húmeda).

Los carbohidratos digestibles del IPIII, IPIV y del trigo integral están compuestos principalmente por almidón. Los carbohidratos digestibles del CUADRO 18, han sido obtenidos de la multiplicación del extracto no nitrogenado

por el factor 0,7. Lo anterior se realizó en base a que la digestibilidad del almidón extruído es de un 70%, y dado que los carbohidratos del IPIII, IPIV y del trigo integral están principalmente compuestos por almidón, no resultaría erróneo el cálculo de este parámetro a partir de lo mencionado anteriormente (CAÑAS, 1998).

CUADRO 18 Composición de la harina integral de trigo, los ingredientes IPI, IPII, IPIII, IPIV, el arbocel y el premix vitamínico (% en base húmeda).

Composición	H. de trigo Integral ^b	IPI	IPII ^b	IPIII	IPVI ^b	Arbocel ^b	Premix vit. y minerales ^b
Humedad	13,8	11	7,0	10	10,3	8,0	5,0
Proteína cruda	12	47	82	60,7	77	-	5,0
Lípidos	2,5	1,0	6,4	1,8	1,55	-	1,0
Fibra cruda	4,0	5,0	1,0	1,5	2,0	-	3,0
Cenizas	1,8	6,0	3,0	2,1	1,5	-	0
E.N.N.	92,9	30	10,5	25	28,6	92	33
Carbohidratos digestibles	65	18	15	17,6	20	-	-
Fósforo	0,89	0,64	0,66	0,44	0,37	0,76	-

FUENTE: ^bSergio Silva P. Médico Veterinario. Jefe de Investigación y Desarrollo. CETECAL S.A. Comunicación personal; NRC (1993).

En el CUADRO 19, se presenta la composición de los principales aminoácidos en los ingredientes requeridos por los salmónidos. En el se observa, que si se comparan los aminoácidos de la harina de pescado con los de la harina de haba descascarada, en este último, el contenido de aminoácidos son menores que en la harina de pescado.

2.11.3 Antecedentes de la energía neta y digestible de los ingredientes. En el CUADRO 20, se presenta la energía neta y digestible de los ingredientes.

CUADRO 19 Composición de aminoácidos de los ingredientes (g/ 100 g de harina).

Ingredientes	Arginina	Lisina	Histidina	Metionina	Triptofano
Harina de pescado ^b	4,22	5,23	2,53	2,60	0,88
Harina de haba descascarada ^b	2,8	1,8	0,7	0,3	-
Ingrediente proteico I ^b	8,0	6,7	2,7	1,6	1,3
Harina de trigo integral ^b	0,98	0,67	0,4	0,4	0,4
Ingrediente proteico II ^b	5,20	3,20	1,04	4,2	0,7
Ingrediente proteico III ^b	2,02	1,11	1,31	1,63	0,43
Ingrediente proteico IV ^b	0,46	0,36	0,27	3,0	0,12
ArboceI ^b	3,03	1,24	0,84	1,43	0,46

FUENTE: ¹NRC (1993); ^bSergio Silva P. Médico Veterinario. Jefe de Investigación y Desarrollo. CETECSAL S.A. Comunicación personal.

CUADRO 20 Energía neta y digestible de los ingredientes (MJ/ kg).

Ingredientes	Energía neta	Energía digestible
Harina de pescado ^b	19,65	17,25
Harina de haba descascarada ³	15,8 ²	13,10 ³
Ingrediente proteico I ^b	16,66	12,31
Harina de trigo integral ^b	4,28	3,23
Ingrediente proteico II ^b	22,03	17,90
Aceite de pescado ¹	39,54	38,35
Ingrediente proteico III ^b	19,65	17,25
Ingrediente proteico IV ^b	20,14	15,15
ArboceI ^b	15,79	11,06

FUENTE: ¹NCR (1993); ²RUBIO *et al.* (1991); ³AKBAR y GUPTA (1990); ^bSergio Silva P. Médico Veterinario. Jefe de Investigación y Desarrollo. CETECSAL S.A. Comunicación personal.

2.11.4 Antecedentes de los precios de los ingredientes. Como ya se señaló anteriormente, la formulación de dietas al mínimo costo es una condición importante al momento de formular una dieta.

El precio de los insumos es una variable importante para ser considerada en la formulación de una ración. Se deben conocer todos los precios que tienen los insumos considerados en la formulación para así incorporarlas a ésta y en

determinado momento evaluar el costo de una ración con respecto a otra también nutricionalmente viable, pero con costos variables. Al referirse de los costos variables, se refiere a la selección de una ración que resulte más económica que otra, pero que ofrezca ventajas específicas en términos de nutrientes.

En el CUADRO 21, se presentan los precios de los ingredientes que serán utilizados en la formulación de dietas teóricas del presente trabajo, los cuales son cotizados sin IVA y en base húmeda o tal cual y con fecha de marzo del 2002. En la mayoría de los casos, dependiendo del ingrediente o insumo, los precios fueron entregados por empresas relacionadas con el insumo por el cual se estaba preguntando o bien el costo que tenía para ellas la compra o venta del insumo.

CUADRO 21 Precios de los ingredientes.

Ingredientes	Precio (\$/ kg marzo 2002)
Harina de pescado ^b	460
Aceite de pescado ^b	383
Arbocel ^b	1.243
Ingrediente proteico I ^b	169
Ingrediente proteico II ^b	285
Ingrediente proteico III ^b	255
Ingrediente proteico IV ^b	845
Harina de trigo integral ^d	330
Harina de haba descascarada ^e	268
Metionina ^b	2.250
Lisina ^b	1.289
Arginina ^b	1.420
Triptofano ^f	1.420
Premezcla vitaminas y minerales ^b	1.921

FUENTE: ^bSergio Silva P. Médico Veterinario. Jefe de Investigación y Desarrollo. CETEC SAL S.A. Comunicación personal.; (^d); (^e); (^f).

^d Sr. Iván Herrera. Médico Veterinario. Molinos El Edén. Comunicación personal.

^e <http://www.cosmos.com.mx>. 10/03/2002

^f Sr. Juan Pablo Núñez. Médico Veterinario. Veterquímica. Comunicación personal.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Materiales

Las dietas que sirvieron como referencia para la formulación de las dietas experimentales, se obtuvieron a partir del catálogo de una empresa productora de alimentos para peces, que cuenta con una amplia gama de dietas para salmones del Atlántico y Coho, y también para truchas, durante sus diferentes etapas de desarrollo en agua de mar. El presente estudio, además fue desarrollado utilizando los siguientes materiales:

3.1.1 Semilla seleccionada de haba. Las semillas analizadas en este estudio, fueron de la especie *Vicia faba* var. *minor* (Harz) Beck, procedente de la Estación Experimental Santa Rosa, Valdivia, X Región.

3.1.2 Material de laboratorio. Los análisis del presente estudio, fueron desarrollados en los laboratorios del Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, ICYTAL, y del Instituto de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile.

3.2 Métodos

La realización del presente trabajo se dividió básicamente en:

3.2.1 Revisión bibliográfica. Se realizó una revisión bibliográfica para reunir información de la leguminosa especie *Vicia faba* var. *minor* (Harz) Beck, los antecedentes necesarios sobre los requerimientos nutricionales de los peces salmonideos, los precios de los insumos y sus características tanto químicas como nutricionales, utilizados en las dietas, que permitió la confección de una base de datos con la información necesaria para la formulación de las dietas.

3.2.2 Proceso de descascarado de la semilla de haba. El descascarado se realizó para disminuir el contenido de fibra y aumentar el valor nutricional de la harina. Esto se realizó de la siguiente manera: Se remojaron 645 g de semillas de haba en agua fría (temperatura ambiente) por 8 -10 h aproximadamente, para que de esta forma se desprendiera la testa de los cotiledones. Luego se realizó el descascarado de la semilla en forma manual. Después, las semillas ya descascaradas y con testa se secaron en un horno a 60°C por 12 horas. Y finalmente, se determinó el rendimiento de la semilla descascarada en porcentaje.

3.2.3 Preparación de las harinas de haba de los diferentes procesos aplicados a las semillas. Se trabajó con dos clases de harina de haba: de semillas con testa y de semillas descascaradas, las que se prepararon de la siguiente forma: Se realizó una premolienda de las semillas obtenidas de cada proceso en molino de laboratorio (MODEL 4-E, QUAKER CITY MILL, PHILADELPHIA, PA.USA.F 8-E). Posteriormente, se realizó una segunda molienda fina en el molino del laboratorio de cuchillos RETSCH, ultracentrifugo, tipo ZM1, tamaño de la partícula: 0,5 a 1,0 mm.

3.2.4 Análisis proximal y de fósforo a la harina de haba. Se realizó un análisis proximal de la harina y además un análisis de fósforo. Los métodos usados para realizar estos análisis según AOAC (1995), fueron los siguientes:

- Determinación de humedad por el Método oficial AOAC 925.09 (1995). Secado a 100 ± 2 °C.
- Determinación de cenizas por el Método oficial AOAC 942.05 (1995). Método directo.
- Determinación de proteína por el Método oficial AOAC 954.01 (1995). Método Kjeldahl.
- Determinación de extracto etéreo por el Método oficial AOAC 920.39 (1995). Método Soxhlet.
- Determinación de fibra cruda por el Método oficial AOAC 978.10 (1995).

- Determinación de fósforo por el Método oficial AOAC 970.39 (1995). Método espectrofotométrico Molibdo-vanadato.

3.2.5 Evaluación teórica de la calidad nutricional de la harina de haba, en la formulación del alimento para salmónidos. La evaluación de la calidad nutricional de las harinas de haba en la alimentación para salmónidos, se realizó con la información obtenida de los distintos estudios llevados a cabo por diferentes autores, sobre el valor nutricional de diferentes dietas para salmónidos.

3.2.6 Formulación teórica de las dietas con incorporación de diferentes niveles de harina de haba. En la formulación teórica de las dietas para salmónidos, los ingredientes usados fueron los correspondientes a una dieta extruída estándar, estos son: harina de pescado, harina de trigo integral, Ingrediente proteico I (IPI), Ingrediente proteico II (IPII), Ingrediente proteico III (IPIII), Ingrediente proteico IV (IPIV), arbocel, aceite de pescado, aminoácidos y premezcla de vitaminas y minerales y agua (en las dietas no se encuentran considerados los pigmentos). Para sustituir parcialmente la harina de pescado, se incorporó sólo la harina de haba descascarada.

Los insumos o ingredientes utilizados en la formulación de dietas comerciales y teóricas fueron los mismos, a excepción de la harina de haba que solamente se incorporaron en las dietas propuestas.

La composición química de la formulación teórica de las dietas, fue basada en dietas comerciales, para la fase de engorda de las truchas y los salmones del Atlántico y del Pacífico (o Coho).

De los catálogos comerciales disponibles, se seleccionó el de una empresa nacional de alimentos para peces, por ser uno de los principales elaboradores de dietas comerciales para peces salmonideos en Chile y por contener información mas completa respecto a los productos que ofrece.

Estas dietas son utilizadas para la producción de truchas y salmones del Atlántico y Coho para la fase de engorda en agua de mar. Son dietas formuladas

para satisfacer el alto requerimiento energético de los peces en crecimiento. Son dietas extruídas con un nivel alto y adecuado de energía y diferentes calibres de presentación. En este estudio, se seleccionó las dietas con contenidos en proteína/lípidos de: 43/26, 43/30, 40/30 y 38/35. En el CUADRO 22, se presenta la composición química de estas dietas comerciales seleccionadas para truchas, salmones del Atlántico y Coho que sirvieron de base para este estudio.

CUADRO 22 Composición química de dieta para truchas para salmones del Atlántico y Coho.

Tamaño pellet (mm)	Proteínas (%)	Lípidos (%)	Carbohidratos (%)	Humedad (%)	Fibra cruda (%)	Cenizas (%)
3-4	43	26	12	9	1	9
5-7	43	30	12	9	1	5
9-11	40	30	12	9	1	8
9-11	38	35	12	9	1	5

FUENTE: SALMOFOOD (2002).

La denominación de las dietas comerciales teóricas se hará en términos de su relación Proteína/Lípidos, lo cual facilitará la comparación de las formulaciones obtenidas con lo reportado en la literatura.

3.2.7 Uso de la programación lineal para establecer la factibilidad de reemplazar harina de pescado por harina de haba. La formulación teórica de las dietas, fueron optimizadas mediante programación lineal a través del programa LINDO (Linear **I**nteractive **D**iscrete **O**ptimizer), que es comúnmente usado para obtener dietas al mínimo costo. Para esto, fue necesario disponer de la información que se presentó en la revisión bibliográfica (capítulo 2.11) de este estudio.

A cada una de las dietas de referencia formuladas, se les reemplazó parcialmente la harina de pescado por harina de haba descascarada. Estas dietas, fueron formuladas mediante la utilización del programa anteriormente nombrado,

el LINDO, con el cual además fue posible determinar los niveles óptimos de sustitución de la harina de haba, tomando en cuenta todas las restricciones posibles de considerar (por ejemplo, económicas, niveles máximos y mínimos de los diferentes constituyentes) para la obtención de una dieta tanto económica como nutricionalmente viable. Estas dietas, fueron formuladas para ser isoproteicas e isoenergéticas.

Cada una de las dietas formuladas, fueron confeccionadas sin inclusión individual de la harina de haba, y posteriormente se le incorporó a cada una de ellas, para determinar el nivel óptimo de sustitución que se podría alcanzar.

Los nutrientes balanceados fueron proteína, lípidos, fibra cruda, humedad y carbohidratos digestibles, los que fueron basados en dietas comerciales para esta fase de engorda; además se balanceó el contenido de fósforo, ácidos grasos esenciales, energía digestible y aminoácidos esenciales, requeridos nutricionalmente por los peces. En caso de existir en la formulación un déficit de cierto aminoácido esencial, éste se incorporó como un insumo más a la formulación para cumplir con los requerimientos nutricionales del pez.

La composición química de la harina de haba que se utilizó, fue la obtenida de los análisis realizados a la harina de haba descascarada, expresados en base húmeda.

Después del análisis de las dietas teóricas que utilizó la harina de haba como una fuente proteica alternativa, y de haber evaluado los niveles óptimos de sustitución, se buscó obtener un modelo de dieta óptima que permita cumplir con los objetivos del presente trabajo.

3.3 Metodología Estadística.

El análisis estadístico se realizó con la ayuda del programa STATGRAPHICS Plus 5.0.

3.3.1 Diseño experimental. El diseño propuesto fue el siguiente:

- Diseño al azar con dos tratamientos a la semilla y cinco repeticiones.

Los procesos aplicados a las semillas fueron los siguientes:

- Semilla con cáscara (T_1).
- Semilla descascarada (T_2).
- Las variables de respuesta fueron: análisis proximal y de fósforo.

3.3.2 Análisis de datos. Para el análisis de datos se realizó un análisis de Varianza (Andeva) y para las diferencias entre los tratamientos, se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey con un nivel de confianza de 95%.

4. PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Este capítulo se presenta los resultados obtenidos del análisis proximal y de fósforo, realizado a las harinas de haba obtenidas de dos procesos o tratamientos (con cáscara y descascarada) aplicado a las semillas.

También se presentan los resultados obtenidos de la formulación teórica de las dietas desarrolladas para salmónidos, con sustitución parcial de la harina de pescado por harina de haba.

Además, se analizan los resultados obtenidos del reemplazo de la harina de pescado por harina de las ocho dietas comerciales seleccionadas, con los niveles de incorporación y sustitución alcanzados.

Finalmente, se comenta la necesidad de la superficie a sembrar de haba, para reemplazar parcialmente la harina de pescado en alimentos para salmónidos.

4.1 Análisis proximal y de fósforo de las muestras de semillas con testa y descascarada de haba.

En el CUADRO 23 se presentan los promedios y error estándar obtenidos del análisis proximal y de fósforo de las muestras de semilla con cáscara y descascarada de haba de la Estación Experimental Santa Rosa, Valdivia, X Región.

A continuación, se muestran los resultados del contenido de materia seca de la semilla con testa y descascarada, y los resultados del análisis proximal y de fósforo aplicados a ambas harinas.

4.1.1 Resultados del análisis de materia seca. Se determinó el contenido de materia seca de las harinas de haba con testa y descascarada, y el promedio de

materia seca de ambas harinas fue de 86.95%. Este valor fue similar al informado por MARQUARDT (1984), quien encontró un valor de 87% de materia seca.

Finalmente, se asume que el contenido promedio de humedad de la harina de semilla de haba descascarada industrial es de 13,05%, al igual que la semilla entera, el cual se muestra en el CUADRO 23.

CUADRO 23 Valores promedios y error estándar del análisis proximal y de fósforo de las muestras de semilla de haba con testa y descascarada.

COMPOSICIÓN (% base materia seca)	TRATAMIENTOS	
	T ₁ (con cáscara)	T ₂ (Descascarada)
Humedad	13,05 ± 1,02 a	13,05 ± 1,02 a
Proteína cruda	19,54 ± 0,49 a	25,50 ± 0,49 b
Extracto etéreo	1,37 ± 0,16 a	1,77 ± 0,16 a
Fibra cruda	8,14 ± 0,10 a	1,34 ± 0,10 b
Cenizas	2,70 ± 0,06 a	2,72 ± 0,06 a
Fósforo	0,31 ± 0,005 a	0,35 ± 0,005 b

* Letras distintas en una misma fila, indican diferencia estadísticamente significativa al 95% del nivel de confianza, según la prueba de Rango Múltiple de Tukey.

4.1.2 Resultados del análisis de proteína. En los resultados del análisis de varianza, se observó que los tratamientos aplicados a las semillas tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de proteína.

En el CUADRO 23 se observa que la harina de haba de semilla con testa presenta el menor valor del contenido de proteína, obteniendo un promedio de 19,54%, el que es significativamente diferente al contenido promedio de la harina de semilla descascarada. Este valor fue similar al informado por TYLER *et al.* (1981), quienes encontraron un valor de 19,60% en la harina de haba entera (*Vicia faba var. minor*), y fue mas alto al informado por otros autores, entre ellos se encuentran a KHARE y SINGH (1991), quienes encontraron un valor de 18,0% y 17,6%. Por otro lado, este valor es mas bajo que el informado por

HEBBLETHWAITE (1983), MARQUARDT (1984) y BARRAT (1981), quienes encontraron valores de 32,5%, 31,8% y 25,0%, respectivamente.

Se observa además que el contenido de proteína de la harina de semilla descascarada, aumentó con respecto a la harina de semilla con testa, obteniéndose un promedio de 25,5%. Este valor de proteína, es más alto que el informado por otros autores como MATEO (1961), ROBERTSON *et al.* (1985), y KHARE y SINGH (1991), quienes encontraron un valor de 23,0%, 18,5% y 23,92%, respectivamente; y similar al obtenido por DUKE (1981) de 25,5%. Por otro lado, este valor es mas bajo que el informado por HEBBLETHWAITE (1983); Fröhlich *et al.* citado por SJÖDIN (1982); Picard, citado por SJÖDIN (1982), quienes encontraron valores de 35%, 37% y 41%, respectivamente

4.1.3 Resultados del análisis de extracto etéreo. En los resultados del análisis de varianza, se observó que los tratamientos aplicados a las semillas haba no tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de extracto etéreo.

En el CUADRO 23, se observa que no hay diferencias estadísticamente significativas entre el contenido extracto etéreo de la harina de semilla con cáscara, y el contenido de extracto etéreo de la harina de semilla descascarada de haba. El contenido de extracto etéreo encontrado en la harina de semilla con cáscara es menor con un 1,37%, y es similar al informado por DUKE (1981); KHARE y SINGH (1991), quienes encontraron un valor de 1,30%, 1,32%, de harina de haba con cáscara (*Vicia faba* var. *minor*). Otros autores han informado valores más altos en la misma variedad de haba, entre ellos se nombra PATEL y JOHNSON (1974) que informaron valores de 2,26%.

Se observa además que el contenido de extracto etéreo de la harina de semilla descascarada de haba fue de 1,77%, este valor fue similar al observado por EXLER *et al.* (1977) y RUBIO *et al.* (1991), quienes encontraron un valor de 1,76% y 1,75% en harina de haba descascarada (*Vicia faba* var. *minor*). Otros

autores han informado valores más altos en la misma especie de haba, entre ellos se nombra a NEWAZ y NEWAZ (1986) que informó valores entre 2,65% a 3,26%.

4.1.4 Resultados del análisis de cenizas. En los resultados del análisis de varianza, se observó que los tratamientos aplicados a las semillas de haba no tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de cenizas.

En el CUADRO 23, se observa que no hay diferencias estadísticamente significativas entre el contenido extracto etéreo de la harina de semilla con cáscara, y el contenido de cenizas de la harina de semilla descascarada de haba. Además, en el CUADRO 23, se observa que el contenido promedio de las cenizas de la harina de haba con cáscara, es de 2,70%. Este valor es muy similar al informado por SOSULSKI y McCURDY (1987), quienes encontraron un valor de 2,69% de harina de haba con cáscara (*Vicia faba* var. *minor*). Otros autores han informado valores mas altos en la misma especie de haba, entre ellos se nombra RUBIO **et al.** (1990), que informaron valores de aproximadamente 3,5%.

También se observa que el contenido de cenizas de la harina de semilla descascarada de haba fue de 2,72%, lo que no fue significativamente diferente al encontrado en la harina de haba de semilla con cáscara. Este valor fue similar al observado por MARQUARDT **et al.** (1975), quienes encontraron un valor de 2,7% en harina de haba descascarada (*Vicia faba* var. *minor*). Otros autores han informado valores mas altos en la misma especie de haba, entre ellos se nombra RUBIO **et al.** (1990), que informaron valores de aproximadamente 3,8%.

4.1.5 Resultados del análisis de fibra. En los resultados del análisis de varianza, se observó que sólo los tratamientos aplicados a las semillas de haba descascarada tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de fibra.

En el CUADRO 23, se observa que el contenido promedio de la fibra de la harina de haba de semilla con cáscara, es de 8,14%. Este valor es muy similar al informado por MARQUARDT **et al.** (1975), quienes encontraron un valor de 8,10%

de harina de haba con cáscara (*Vicia faba* var. *minor*). Otros autores han informado valores mas altos en la misma especie de haba, entre ellos se nombra MARQUARDT **et al.** (1975), que informaron valores entre 8,6% a 9,3%.

Además, se observa que el contenido de fibra de la harina de semilla descascarada de haba fue de 1,34%, lo que fue significativamente diferente al encontrado en la harina de haba de semilla con cáscara. Este valor fue similar al observado por RUBIO **et al.** (1990), quienes encontraron un valor de 0,08% a 1,2% en harina de haba descascarada (*Vicia faba* var. *minor*). Otros autores han informado valores mas altos en la misma especie de haba, entre ellos se nombra SOSULSKI y McCURDY (1987), que informaron valores entre 1,6% a 1,9%.

4.1.6 Resultados del análisis de fósforo. En los resultados del análisis de varianza, se observó que los tratamientos aplicados a las semillas haba tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de fósforo.

En el CUADRO 23, se observa que el contenido promedio de fósforo de la harina de haba de semilla con cáscara, es de 0,31%. Este valor es muy similar al informado por DUKE (1981) quien encontró un valor de 0,30% de harina de haba con cáscara (*Vicia faba* var. *minor*). Otros autores han informado valores mas altos en la misma especie de haba, entre ellos MARQUARDT **et al.** (1975), quienes informaron valores de 0,60%.

Además, se observa que el contenido de fósforo de la harina de semilla descascarada de haba fue de 0,35%, lo que fue significativamente diferente al encontrado en la harina de haba de semilla con cáscara. Este valor fue similar al observado por SOSULSKI y McCURDY (1987), quienes encontraron un valor de 0,4% en harina de haba descascarada (*Vicia faba* var. *minor*). Otros autores han informado valores mas altos en la misma especie de haba, entre ellos MARQUARDT **et al.** (1975), que informaron valores de aproximadamente 0,64%.

4.2 Resultados de la formulación de las dietas para salmónidos, con incorporación de harina de haba de semilla descascarada.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la formulación de las ocho diferentes dietas comerciales a las que se les incorporó la harina de haba. En cada cuadro presentado de las formulaciones y composición química y de aminoácidos de las dietas, se anotó la restricción de cada elemento, lo que se indica mediante una simbología, que el aporte de ese elemento debe ser menor, mayor o igual al valor dado (\leq , \geq o $=$) e indica los requerimientos nutricionales del pez y las características dietarias del alimento. Es decir, la dirección del signo nos indica si el insumo se encuentra restringido ya sea por un valor mínimo o máximo en la formulación, para cumplir así con los requerimientos dietarios exigidos.

4.2.1 Dietas para truchas. Es una dieta desarrollada para satisfacer el alto requerimiento energético de los peces en crecimiento y promover éste, desde los 70 g hasta la cosecha (entre 1,8 a 2 kg). Su presentación es de cuatro niveles de contenido de proteína y lípidos, cada uno con un tamaño distinto del extruído dependiendo de la etapa de engorda.

En el CUADRO 24, se presenta la formulación y composición química y de aminoácidos de la dieta para truchas con 43% de proteínas y 26% de lípidos. En el se puede observar que la incorporación de la harina de haba fueron de un 9.89% de la dieta. La harina de pescado de la dieta de referencia disminuyó desde un 45% a un 30% en la dieta con haba. Finalmente, se logró sustituir un 33% de la harina de pescado y del ingrediente proteico II. Esta dieta fue la que obtuvo la mayor cantidad de incorporación de harina de haba y la mayor cantidad de sustitución de harina de pescado.

La formulación y composición química y de aminoácidos de la dieta para truchas con 43% de proteínas y 30% de lípidos se presenta en el CUADRO 25. En el se observa que la incorporación de harina de haba en la dieta fue de un 8,21% de la dieta. La harina de pescado de la dieta de referencia disminuyó desde un

34,12% a un 30% en la dieta con haba. Finalmente, se logró sustituir un 12% de la harina de pescado al incorporar harina de haba.

La formulación y composición química y de aminoácidos de la dieta para truchas con 40% de proteínas y 30% de lípidos se encuentra en el CUADRO 26. En el se observa que se pudo incorporar un 5,83% de harina de haba. La harina de pescado disminuyó de un 38.06% a un 30%. Finalmente se logró sustituir un 21% de la harina de pescado y del ingrediente proteico II al incorporar harina de haba.

La formulación y composición química y de aminoácidos de la dieta para truchas con 38% de proteínas y 35% de lípidos se presenta en el CUADRO 27. En el se observa que se pudo incorporar un 2,77% de harina de haba, sin alterar la composición nutritiva del alimento. La harina de pescado disminuyó de 27,18% en la dieta de referencia a un 26,69% en la dieta con haba, lográndose sólo un 2% de reemplazo de harina de pescado en las dietas para truchas.

GOUVEIA **et al.** (1991) realizaron estudios de sustitución parcial de harina de pescado por harina de haba u otros vegetales para alimento para truchas, en el cual lograron obtener un aumento en el contenido de grasa y de energía neta en la dieta, un buen comportamiento en el crecimiento de la trucha, sin inducir cambios en la ingesta y eficiencia de alimento, y con una buena retención de energía, sin provocar efectos negativos en el pez.

Otros autores han formulado dietas para truchas arco iris sustituyendo parcialmente la harina de pescado por harina de haba u otros vegetales, es así como GOMES **et al** (1995) incorporaron 5,4% de harina de haba en la dieta de trucha arco iris (entre otros ingredientes de origen vegetal) en la dieta, lográndose reemplazar un 35% de la harina de pescado, sin afectar el peso ganado y eficiencia proteica de utilización de alimento para los peces. Estos autores informaron que los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) medidos para la harina de haba, entre otros vegetales tales como harina de lupino y harina de arveja resultaron ser con valores nutritivos similares para la incorporación en dietas para salmónidos. Estudios similares fue llevado a cabo por GOUVEIA **et al.**

(1991) quienes además observaron que en la incorporación de harina de haba en la dieta para truchas se obtenía un mejor crecimiento y que un tratamiento térmico mejoraba el valor nutricional del grano.

El tratamiento térmico o el proceso de extrusión aumenta los valores nutricionales por una mejor digestibilidad en varios nutrientes especialmente la digestibilidad de carbohidratos y proteínas en el haba (MARQUARDT, 1984), ya que se produce una disminución de glucósidos presentes en el grano (CUBERO y MORENO, 1983).

En las dietas formuladas con harina de haba presentadas en los CUADROS 24, 25, 26 y 27, se observa en los cuadros anteriormente presentados, que en todas las dietas con harina de haba, fue necesario suplementar los aminoácidos metionina, lisina y arginina.

En todas las dietas se observó que al incorporar harina de haba la arginina disminuye, es decir, la cantidad agregada de este aminoácido fue menor que la de la dieta de referencia. Lo anterior, es debido a que el haba es considerado que tiene un buen contenido de arginina (MARQUARDT, 1984), así la cantidad aportada de este aminoácido por el haba a las dietas fue suficiente. Lo contrario sucede con lisina, que al incorporar harina de haba éste aumenta siendo mayor que el de la referencia, es decir, hay que aumentar la cantidad de incorporación de este aminoácido en la dieta. Se sabe que el haba es una buena fuente de lisina, pero es menor que en la harina de pescado, por lo que éste aminoácido no fue suficiente para las dietas.

También se observa que en la dieta 43/26 con incorporación de haba, el aminoácido metionina fue menor, y esto se debe a que siendo el haba, como las legumbres en general, deficientes en aminoácidos azufrados, es decir, en metionina y cistina (Boulter, citados por CUBERO y MORENO, 1983), en este caso la metionina fue proporcionada por los ingredientes IPII y IPIV principalmente, ya que éstos contienen muy buenos niveles de este aminoácido, siendo mayores que en la harina de pescado.

En dietas para truchas formuladas con harina de haba por otros autores como GOMES **et al.** (1995), se han suplementado las dietas con los aminoácidos metionina y lisina en un 0,25% y en un 1,0%, respectivamente dependiendo de la cantidad de harina de haba incorporada en la dieta, para cumplir con los requerimientos de aminoácidos de las truchas. Koops **et al.**, citados por MARTINEZ **et al.** (1996), han encontrado que la utilización de harina de haba, como sustituto proteico de dietas para truchas puede ser hasta de un 45% siempre y cuando sea adicionado a la dieta con 2,13% de cistina, 2,32% de lisina y 2,82% de arginina.

En las dietas 43/26 y 40/30 con haba, la incorporación con metionina y arginina resultó ser más económica que la dieta de referencia, reduciendo los costos de formulación en \$37 para la dieta 43/26, y en \$24 por kg de alimento para la dieta 40/30, lo cual resulta ser muy atractivo económicamente.

Al sustituir la harina de pescado por harina de haba en la formulación, se lograron disminuir tres componentes muy importantes en la elaboración de alimentos para truchas como fósforo, fibra cruda y cenizas.

Se observa que el contenido de fósforo disminuyó al incorporar harina de haba en la dieta, y esto se encuentra dentro de la cantidad requerida por los salmónidos. La incorporación de haba reduce la descarga de fósforo hacia las aguas, favoreciendo la disminución de la contaminación de éstas por las heces y de los alimentos no aprovechados altos en fósforo, evitando por lo tanto la eutroficación del medio acuático (LOVELL, 1998; SUGIURA, 1998).

En relación al contenido de fibra, se observa que las dietas con incorporación de harina de haba, hace disminuir el contenido de fibra final o la mantiene igual, con respecto a la de referencia. Lo anterior es porque la utilización de la harina de trigo integral disminuyó. Según MARQUARDT (1984), si bien es cierto que la semilla de haba con cáscara tiene un alto contenido de fibra y varios factores antinutricionales, se recomienda trabajar con la semilla descascarada, para poder ser incorporada a la formulación de dietas para peces, ya que, según

este autor al disminuir la cantidad de fibra cruda mediante un descascarado, aumenta el contenido de energía metabolizable y el valor nutricional de la harina.

En cuanto al contenido de cenizas, en la sustitución parcial de la harina de pescado, se observa que ésta disminuyó en todas las dietas, lo cual resulta ser beneficioso tanto para el pez, como desde el punto de vista del medio acuático. Lo anterior se debe a que la harina de pescado tiene altos niveles de cenizas (14,5%) en comparación a los otros ingredientes en la formulación de dietas. La harina de pescado chilena es alta en cenizas porque es elaborada con esqueletos de peces y por lo tanto es rica en fósforo y calcio. De esto, es importante que en una dieta con harina de pescado, los niveles de cenizas no sean elevados ya que ésta en exceso puede producir desequilibrios de minerales en el pez y además eutroficación de las aguas (SUGIURA *et al.* 1998).

Se observa que en las dietas con incorporación de harina de haba, los contenidos de energía neta y de energía digestible aumentan, lo que significa una mayor retención de energía por el pez. Es decir, el pez aprovecha mejor la energía otorgada por el alimento y por lo tanto cuenta con una mayor cantidad de energía para su crecimiento o engorda. De acuerdo a lo señalado por el fabricante, esta dieta es de un alto valor energético, lo cual se hace mayor al incorporarle el haba.

Es importante también mencionar que en las dietas 43/26 y 40/30, el haba no fue la única responsable por el ahorro de harina de pescado, ya que en dichas dietas se observa que la mayor cantidad de incorporación resulta ser para el ingrediente proteico II (IPII) y no totalmente para la harina de haba, debido a que el IPII aunque tiene un precio comercial un poco mayor que la harina de haba, el contenido de proteínas, de energía neta y energía digestible, de lípidos, de aminoácidos es mayor.

Se observa además que en las dietas formuladas para truchas, todas cumplen los requerimientos de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, omega-3, el eicosapentaenoico (EPA) y el docosahexaenoico (DHA) los cuales son esenciales para su sistema cardiovascular, la construcción del tejido nervioso, la correcta formación de la retina, el fortalecimiento del sistema inmunológico,

entre otros (CHILE, FUNDACIÓN CHILE, 1998; NRC, 1993). HARDY (1998), estableció que los salmónidos requieren entre 1-2% de ácidos grasos omega-3 en las dietas para prevenir la aparición de signos negativos, pero mayores resultados de crecimiento se han obtenido al utilizar EPA y DHA. Por otro lado, el aceite de haba aporta a las dietas el ácido alfa linolénico omega-3 (SALUNKHE, 1985), también esencial para los salmónidos, ya que a partir de él, pueden sintetizar el EPA y el DHA, puesto que los peces tienen la habilidad de elongar y desaturar (introducir dobles enlaces) ácidos grasos de estructura más simple a ácidos grasos de cadena larga más insaturados de la misma serie (NRC, 1993; JOBLING, 1993), al menos en la primera etapa de crecimiento.

Además, en los cuadros se puede apreciar que la incorporación de harina de haba aumenta la incorporación de aceite de pescado en las formulaciones, debido a que el haba tiene un contenido graso bastante más bajo que la harina de pescado, 1,77% versus 8.5%, respectivamente. Los requerimientos de EPA y DHA, estarían ampliamente cubiertos y el contenido final de estos ácidos grasos dietarios esenciales fueron generalmente constantes con y sin incorporación de la harina de haba. Lo anteriormente dicho indica que los valores de estos ácidos grasos obtenidos en la formulación exceden a los requerimientos dietarios del pez y no resultaría un problema la pequeña baja de éstos en la dieta formulada con incorporación de haba, ya que los niveles alcanzados en la formulación superan bastante las exigencias requeridas para una dieta para truchas.

La incorporación de harina de haba aumenta el contenido de carbohidratos digestibles. Tanto truchas como salmones poseen una cantidad mínima de enzimas para la degradación y asimilación de carbohidratos (NRC, 1993; LOVELL, 1998), y si éstos no fueran incorporados, las proteínas y lípidos serían catabolizados para la obtención de energía y síntesis de varios componentes derivados de los carbohidratos (STEFFENS, 1987). Como el haba es rica en almidón (47%), con respecto a otro insumo vegetal, sería el único carbohidrato que le aportaría cierta energía al pez.

CUADRO 24 Formulación, composición química y de aminoácidos de la dieta para truchas con 43% de proteínas y 26% de lípidos.

Ingredientes (%)	Dieta de referencia	Dieta con haba
Harina de pescado	45	30
Harina de haba	0	9,89
Ingrediente proteico I	7,13	10
Harina de trigo integral	12	0
Ingrediente proteico II	1,33	10
Aceite de pescado	21,54	22,35
Ingrediente proteico III	10	10
Ingrediente proteico IV	0	1,48
Premezcla vitaminas y minerales	0,5	0,5
Agua	1,63	2,11
Metionina	0,06	0,02
Triptofano	0	0
Arginina	0,29	0,21
Lisina	0,53	0,68
Composición química (%)		
Humedad =9	9	9
Proteína =43	43	43
Lípidos =26	26	26
Fibra <=1	1	0,90
Cenizas <=9	7,42	5,92
Carbohidratos digeribles <=12	11,04	12
Fósforo >=0,6	1,29	0,93
EPA y DHA >=2,6	6,34	6,29
Energía neta (MJ / kg)	21,30	22,40
Energía digerible (MJ / kg) >=15,06	19,28	19,88
Composición aminoácidos (%de la dieta)		
Metionina >=1,6	1,6	1,6
Lisina >= 2,9	2,9	2,9
Arginina >=2,8	2,8	2,8
Triptofano >=0,6	0,96	1,05
Histidina >= 0,7	1,42	1,19
Precio de la dieta (\$ / kg)	392	355

CUADRO 25 Formulación, composición química y de aminoácidos de la dieta para truchas con 43% de proteínas y 30% de lípidos.

Ingredientes (%)	Dieta de referencia	Dieta con haba
Harina de pescado	34,12	30
Harina de haba	0	8,21
Ingrediente proteico I	9,17	10
Harina de trigo integral	7,28	0
Ingrediente proteico II	10	10
Aceite de pescado	26,01	26,37
Ingrediente proteico III	10	10
Ingrediente proteico IV	0	1,96
Premezcla vitaminas y minerales	0,5	0,5
Agua	2,27	2,24
Metionina	0	0,01
Triptofano	0	0
Arginina	0,27	0,26
Lisina	0,37	0,46
Composición química (%)		
Humedad =9	9	9
Proteínas =43	43	43
Lípidos =30	30	30
Fibra <=1	1	0,89
Cenizas <=6	6,14	5,95
Carbohidratos digeribles <=12	9,64	10,94
Fósforo >=0,6	1,05	0,93
EPA y DHA >=3,0	7,30	7,33
Energía neta (MJ / kg)	22,97	23,83
Energía digerible (MJ/ kg) >=15,06	20,61	21,27
Composición aminoácidos (%de la dieta)		
Metionina >=,6	1,6	1,6
Lisina >= 2,9	2,9	2,9
Arginina >=2,8	2,8	2,8
Triptofano >=0,6	1,04	1,05
Histidina >= 0,7	1,24	1,17
Precio de la dieta (\$ / kg)	368	368

CUADRO 26 Formulación, composición química y de aminoácidos de la dieta para truchas con 40% de proteínas y 30% de lípidos.

Ingredientes (%)	Dieta de referencia	Dieta con haba
Harina de pescado	38,06	30
Harina de haba	0	5,83
Ingrediente proteico I	6,64	10
Harina de trigo integral	12	5,02
Ingrediente proteico II	3,79	8,09
Aceite de pescado	25,98	26,44
Ingrediente proteico III	10	10
Ingrediente proteico IV	0	0
Premezcla vitaminas y minerales	0,5	0,5
Agua	2,02	2,19
Metionina	0,14	0,13
Triptofano	0	0
Arginina	0,47	0,45
Lisina	0,40	0,53
Composición química (%)		
Humedad =9	9	9
Proteína =40	40	40
Lípidos =30	30	30
Fibra <=1	1	1
Cenizas <=8	6,46	5,63
Carbohidratos digeribles <=12	11,32	12
Fósforo >=0,6	1,13	0,94
EPA y DHA >=3,0	7,36	7,34
Energía neta (MJ / kg)	22,14	23,87
Energía digerible (MJ / kg) >=15,06	20,12	20,55
Composición aminoácidos (%de la dieta)		
Metionina >=1,6	1,6	1,6
Lisina >= 2,9	2,9	2,9
Arginina >=2,8	2,8	2,8
Triptofano >=0,6	0,88	1,05
Histidina >= 0,7	1,26	1,15
Precio de la dieta (\$ / kg)	386	363

CUADRO 27 Formulación, composición química y de aminoácidos de la dieta para truchas con 38% de proteínas y 35% de lípidos.

Ingredientes (%)	Dieta de referencia	Dieta con haba (12%)
Harina de pescado	27,18	26,69
Harina de haba	0	2,77
Ingrediente proteico I	10	10
Harina de trigo integral	2,3	0
Ingrediente proteico II	10	10
Aceite de pescado	31,71	31,77
Ingrediente proteico III	10	10
Ingrediente proteico IV	0	0
Premezcla vitaminas y minerales	0,5	0,5
Agua	3,05	3,04
Arbocel	4	4
Metionina	0,10	0,11
Triptofano	0	0
Arginina	0,47	0,43
Lisina	0,69	0,73
Composición química (%)		
Humedad =9	9	9
Proteína =38	38	38
Lípidos =35	35	35
Fibra <=1	0,84	0,78
Cenizas <=5	5,09	5,04
Carbohidratos digestibles <=12	6,56	6,94
Fósforo >=0.6	0,88	0,85
EPA y DHA >=3,5	8,65	8,66
Energía neta (MJ / kg)	24,42	24,69
Energía digestible (MJ / kg) >=15,06	21,98	22,21
Composición aminoácidos (%)		
Metionina >=1,6	1,6	1,6
Lisina >= 2,9	2,9	2,9
Arginina >=2,8	2,8	2,8
Triptofano >=0,6	1,03	1,02
Histidina >= 0,7	1,08	1,08
Precio de la dieta (\$ / kg)	402	400

4.2.2 Dietas para salmones del Atlántico y Coho. Estas son dietas desarrolladas para satisfacer el alto requerimiento energético de los peces en crecimiento y promover éste, desde los 90–100 g hasta la cosecha, en cada una de las fases de engorda de salmones Atlántico y Coho. Su presentación es de cuatro niveles de contenido de lípidos y proteínas, 26/43, 30/43, 30/40 y 35/38, respectivamente, cada uno con un tamaño distinto del extruído dependiendo de la etapa de engorda.

El CUADRO 28 presenta la formulación y composición química y de aminoácidos de la dieta con 26% de lípidos y 43% de proteína. En el se observa que el incorporación de harina de haba fue de un 9,89%, siendo esta la que obtuvo la mayor cantidad de incorporación y sin alterar la composición nutritiva de la dieta. La harina de pescado disminuyó desde un 45% en la dieta de referencia a 30% en la dieta con harina de haba. Finalmente, se logró sustituir un 33% de harina de pescado y del ingrediente proteico II, el cual fue además la mayor cantidad de sustitución de harina de pescado en dietas para los salmones del Atlántico y Coho.

La formulación y composición química y de aminoácidos de la dieta para salmones con 30% de lípidos y 43% de proteínas se encuentra en el CUADRO 29. En el se observa que se pudo incorporar hasta un 9,38% de harina de haba en la dieta, con lo que la harina de pescado disminuyó desde 34,66% de la dieta de referencia a 30% de la dieta con harina de haba. Finalmente se logró sustituir un 13% de la harina de pescado. La formulación y composición química y de aminoácidos de la dieta para truchas con 30% de lípidos y 40% de proteínas se encuentra en el CUADRO 30. En el se observa que se pudo incorporar hasta un 5,83% de harina de haba en la dieta, con lo que la harina de pescado disminuyó desde 42,05% en la dieta de referencia a un 30% en la dieta con harina de haba. Finalmente se logró sustituir un 29%.

La formulación y composición química y de aminoácidos de la dieta para truchas con 38% de lípidos y 35% de proteínas se encuentra en el CUADRO 31. En el se observa que se pudo incorporar como máximo hasta un 4,66% de harina de haba en la dieta, sin alterar la composición nutritiva de la dieta. La harina de pescado disminuyó desde 26,89% en la dieta de referencia a un 26,08% en la dieta con harina de haba. Finalmente se logró sustituir sólo un 3% de la harina de pescado.

En las dietas teóricas formuladas con la incorporación de harinas de origen vegetal para truchas y salmones del Atlántico y Coho, se sabe que han sido de mucho interés y de investigaciones por muchos autores, por ejemplo, tal como lo menciona MÜLLER (2001) quien sustituyó parcialmente de harina de pescado por harina de lupino, y PEÑALOZA (2002) quien aplicó el mismo tema y trabajó además con harinas de arveja descascarada y harina (o torta) de canola.

Se aprecia en los CUADROS 28, 29, 30 y 31, que al igual que para las truchas, la incorporación de aceite de pescado aumentó en todas las dietas formuladas con harina de haba, y que los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga omega-3, el EPA y DHA se encuentran dentro de los niveles requeridos por los salmones (10% de los lípidos dietarios), asimismo el contenido de fósforo (0,7% de la dieta), que junto con este elemento y el contenido de cenizas disminuyeron al incorporarles harina de haba. Es importante mencionar que la presencia de fósforo en la dieta es vital, ya que es un importante constituyente de membranas celulares, de ácidos nucleicos, está directamente involucrado con las reacciones celulares generadoras de energía, y juega un rol fundamental en los procesos metabólicos de carbohidratos, aminoácidos y lípidos (NRC, 1993; LOVELL, 1998). La deficiencia de fósforo produce un mínimo crecimiento, una baja eficiencia alimentaria y pobre mineralización del esqueleto. El alimento es la principal fuente de fosfato para el pez, porque la concentración de fosfato en el agua es baja (NRC, 1993). Cuando se incorpora harinas de origen vegetal, ocurre una disminución de fósforo, ya que éstas lo presentan como fitato que no está disponible tanto en los peces como en general para los monogástricos, que pueden hidrolizarlo en el intestino por carecer de la enzima fitasa en la mucosa intestinal (RODEHUTSCORD **et al.** 2000).

Se observa que las dietas 43/26 y 40/30 formuladas con harina de haba, fueron suplementadas con metionina y lisina, en las cuales el aminoácido metionina disminuye, y aunque es sabido que el haba es deficiente en este aminoácido, su adición fue favorecida a estas dietas mediante los ingredientes IP11 e IP14, ya que éstos son ricos en este aminoácido. La suplementación con lisina

para estas dietas fue mayor, y también se sabe que el haba es una buena fuente de lisina, pero menor que la harina de pescado, por lo éste aminoácido no fue suficiente para las dietas. Las dietas 43/30 y 38/35 fueron suplementadas sólo con metionina, para cumplir con los requerimientos de los salmones. Vale la pena discutir sólo para la dieta 38/35, en la que la cantidad incorporada de este aminoácido disminuyó, teniendo en cuenta que el haba es deficiente en metionina.

En las dietas 43/26 y 40/30 las cuales se les incorporó harina de haba, la suplementación con metionina resultó ser más económica que la dieta de referencia, reduciendo los costos de formulación en \$37 para la dieta 43/26 y en \$12 por kilo de alimento para la dieta 40/30, lo cual resultó ser muy atractivo económicamente.

Es importante también mencionar que al igual que las dietas para truchas, en las dietas 43/26 y 40/30, el haba no fue la única responsable por el ahorro de harina de pescado, ya que en dichas dietas se observa que la mayor cantidad de incorporación resulta ser para el ingrediente proteico II (IPII) y no totalmente para la harina de haba, debido a que el IPII aunque tiene un precio comercial un poco mayor que la harina de haba, el contenido de proteínas, de energía neta y energía digestible, de lípidos, de aminoácidos es mayor.

En relación al contenido de fibra, se observa que las dietas formuladas con harina de haba para salmones, hacen disminuir el contenido de fibra final de las dietas o la mantiene igual que sin la incorporación de esta harina vegetal. Lo anterior es porque la utilización de la harina de trigo integral disminuyó. MARQUARDT (1984) recomienda trabajar con la semilla descascarada para poder ser incorporada a la formulación de dietas para peces, ya que descascarando la semilla se puede disminuir la cantidad de fibra cruda, aumentando así, el contenido de energía metabolizable y el valor nutricional.

Se aprecia además que en las dietas con harina de haba, presentadas en los cuadros, los niveles de energía neta, de energía digestible y de carbohidratos aumentan al incorporar harina de haba en la dieta. La energía digestible fue alta, esto se podría explicar por la presencia de polisacáridos del almidón del haba.

CUADRO 28 Formulación, composición química y de aminoácidos de la dieta para salmones con 43% de proteínas y 26% de lípidos.

Ingredientes (%)	Dieta de referencia	Dieta con haba
Harina de pescado	45	30
Harina de haba	0	9,88
Ingrediente proteico I	7,13	10
Harina de trigo integral	12	0
Ingrediente proteico II	1,33	10
Aceite de pescado	21,54	22,35
Ingrediente proteico III	10	10
Ingrediente proteico IV	0	1,48
Premezcla vitaminas y minerales	0,5	0,5
Agua	1,63	2,11
Metionina	0,06	0,02
Triptofano	0	0
Arginina	0	0
Lisina	0,82	0,88
Composición química (%)		
Humedad = 9	9	9
Proteínas = 43	43	43
Lípidos = 26	26	26
Fibra <= 1	1	0,90
Cenizas <= 9	7,42	5,92
Carbohidratos digeribles <= 12	11,04	12
Fósforo >= 0,7	1,29	0,93
EPA y DHA >= 2,6	6,34	6,29
Energía neta (MJ / kg)	21,30	22,40
Energía digerible (MJ / kg) >= 15,06	19,28	19,88
Composición aminoácidos (%de la dieta)		
Metionina >= 1,6	1,6	1,6
Lisina >= 2	2	2
Arginina >= 2,3	2,51	2,59
Triptofano >= 0,2	0,96	1,05
Histidina >= 0,81	1,41	1,19
Precio de la dieta (\$ / kg)	392	355

CUADRO 29 Formulación, composición química y de aminoácidos de la dieta para salmones con 43% de proteínas y 30% de lípidos.

Ingredientes (%)	Dieta de referencia	Dieta con haba
Harina de pescado	34,66	30
Harina de haba	0	9,38
Ingrediente proteico I	8,01	10
Harina de trigo integral	8,74	0
Ingrediente proteico II	10	10
Aceite de pescado	25,94	26,36
Ingrediente proteico III	10	10
Ingrediente proteico IV	0	1,62
Premezcla vitaminas y minerales	0,5	0,5
Agua	2,16	2,12
Metionina	0	0,02
Triptofano	0	0
Arginina	0	0
Lisina	0	0
Composición química (%)		
Humedad = 9	9	9
Proteínas = 43	43	43
Lípidos = 30	30	30
Fibra <= 1	1	0,89
Cenizas <= 6	6,17	5,93
Carbohidratos digeribles <= 12	10,38	11,68
Fósforo >= 0,7	1,07	0,93
EPA y DHA >= 3,0	7,29	7,32
Energía neta (MJ / kg)	22,92	23,94
Energía digestible (MJ / kg) >= 15,06	20,58	21,37
Composición aminoácidos (%de la dieta)		
Metionina >=1,6	1,6	1,6
Lisina >=2,0	2,53	2,46
Arginina >=2,3	2,53	2,58
Triptofano >=0,2	0,97	1,05
Histidina >=0,81	1,24	1,18
Precio de la dieta (\$ / kg)	365	359

CUADRO 30 Formulación, composición química y de aminoácidos de la dieta para salmones con 40% de proteínas y 30% de lípidos.

Ingredientes (%)	Dieta de referencia	Dieta con haba
Harina de pescado	42,05	30
Harina de haba	0	5,83
Ingrediente proteico I	7,4	10
Harina de trigo integral	12	5,03
Ingrediente proteico II	0	8,09
Aceite de pescado	25,87	26,44
Ingrediente proteico III	10	10
Ingrediente proteico IV	0	0
Premezcla vitaminas y minerales	0,5	0,5
Agua	1,88	2,19
Metionina	1,19	0,13
Triptofano	0	0
Arginina	0	0
Lisina	0,11	1,80
Composición química (%)		
Humedad =9	9	9
Proteínas = 40	40	40
Lípidos =30	30	30
Fibra <= 1	1	1
Cenizas <= 8	6,97	5,63
Carbohidratos digeribles <= 12	10,89	12
Fósforo >= 0,7	1,21	0,94
EPA y DHA >= 3,0	7,41	7,34
Energía neta (MJ / kg)	22,18	22,87
Energía digerible (MJ / kg) >= 15,06	20,26	20,55
Composición aminoácidos (%de la dieta)		
Metionina >= 1,6	1,6	1,6
Lisina >= 2,0	2,72	2,72
Arginina >= 2,3	2,33	2,42
Triptofano >= 0,2	0,94	1,05
Histidina >= 0,81	1,33	1,15
Precio de la dieta (\$ / kg)	385	373

CUADRO 31 Formulación, composición química y de aminoácidos de la dieta para salmones con 38% de proteínas y 35% de lípidos.

Ingredientes (%)	Dieta de referencia	Dieta con haba
Harina de pescado	26,89	26,08
Harina de haba	0	4,66
Ingrediente proteico I	10	10
Harina de trigo integral	4	10
Ingrediente proteico II	10	10
Aceite de pescado	31,70	31,79
Ingrediente proteico III	10	10
Ingrediente proteico IV	0	0
Premezcla vitaminas y minerales	0,5	0,5
Arbocel	4	4
Agua	2,84	2,84
Metionina	0,10	0
Triptofano	0	0
Arginina	0	0
Lisina	0	0
Composición química (%)		
Humedad = 9	9	9
Proteínas = 38	38	38
Lípidos = 35	35	35
Fibra <= 1	0,91	0,80
Cenizas <= 5	5,10	5
Carbohidratos digestibles <= 12	7,65	8,23
Fósforo >= 0,7	0,89	0,84
EPA y DHA >= 3,5	8,65	8,66
Energía neta (MJ / kg)	24,43	24,87
Energía digestible (MJ / kg) >= 15,06	20,98	22,36
Composición aminoácidos (%de la dieta)		
Metionina >= 1,6	1,6	1,6
Lisina >= 2,0	2,20	2,22
Arginina >= 2,3	2,33	2,39
Triptofano >= 0,2	1,03	1,02
Histidina >= 0,81	1,08	1,08
Precio de la dieta (\$ / kg)	391	387

Es importante mencionar en este informe que en la dietas formuladas con incorporación de harina de haba, tanto truchas como salmones del Atlántico (Salar) y Pacífico (Coho) los requerimientos de triptofano, además de arginina para estos últimos, se encuentran cubiertos para los requerimientos de los peces.

Después de buscar las mejores combinaciones de la harina de haba usadas para dar forma a la estructura del alimento, las dietas que se presentaron fueron consideradas las óptimas por el programa LINDO, en términos económicos y nutricionales, pero en comparación con lo realizado por MÜLLER (2001) y PEÑALOZA (2002), la harina de haba no la convierte en una muy buena alternativa para incorporarla como principal ingrediente en la formulación, por tener un contenido bajo en proteínas, lípidos y aminoácidos.

Lo ideal de trabajar con el programa LINDO es darle el mínimo de restricciones para que al momento de la formulación, el programa actúe y seleccione libremente, pero al restringirlo son menos las opciones que tiene de alcanzar la combinación ideal (DAVID y PAMELL, 1997; MOREIRA, 2001). Pese a lo anteriormente dicho, las formulaciones entregadas por el programa fueron viables y por lo tanto, consideradas óptimas.

Finalmente, el promedio de incorporación de harina de haba en las dietas para las distintas fases de engorda de truchas y salmones del Atlántico y Coho es 7,1%.

4.3 Superficie necesaria a sembrar con haba, para reemplazar parcialmente la harina de pescado en alimentos para salmónidos

Para poder conocer la superficie necesaria a sembrar con haba, es importante determinar la cantidad de harina de haba de semilla descascarada a utilizar en alimentos para salmónidos, para de esta forma poder implantar la cantidad de semilla de haba que se necesitan, dependiendo de los rendimientos que se han obtenidos de las semillas.

Hasta este presente, la venta de alimentos para salmónidos^g fue de 700.000 toneladas. Si se considera un promedio de 7,1% de incorporación de harina de haba en las dietas para la fase de engorda de truchas y salmónes del Atlántico y Coho, se necesitarían 49.700 toneladas de harina de haba. Y además, considerando que el rendimiento de la harina de haba descascarada es de un 72%, se necesitarían 69.028 toneladas de semilla de *Vicia faba* var. *minor* (Harz) Beck. Los rendimientos nacionales promedios^h actuales de estas semillas son de 2 toneladas por hectárea (20qq/ha). Así, se necesitaría una superficie de 34.514 hectáreas de *Vicia faba* var. *minor* (Harz) Beck a sembrar.

^g Sr. Gerardo Muñoz. Médico Veterinario. Fundación Chile. Comunicación personal.

^h Sr. Aage Krarup. Ingeniero agrónomo. Estación Experimental Santa Rosa. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Comunicación personal.

5. CONCLUSIONES

- Fue factible la sustitución parcial de harina de pescado por harina de haba *Vicia faba* var. *minor* (Harz) Beck, en la formulación de alimento para salmónidos.
- Las muestras de las semillas de haba de la X Región presentan diferencias estadísticamente significativas en el contenido de proteína, fibra cruda y fósforo, entre los tratamientos de semilla entera y descascarada aplicados. Estas diferencias se disipan al descascarar las semillas.
- De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis proximal y de fósforo de los dos tratamientos aplicados a las semillas, la harina de haba de semilla descascarada sería apta para reemplazar parcialmente la harina de pescado en la formulación de alimento para salmónidos.
- En las dietas con harina de haba aumenta el contenido de energía neta y energía digestible, lo que significa una mayor retención de energía por el pez.
- El contenido de fósforo, fibra cruda y cenizas en las dietas formuladas disminuyó al aumentar la incorporación de haba en las dietas, sin embargo, este se encuentra dentro del valor requerido por los salmónidos.
- La formulación de dietas con incorporación de harina de haba, otorga ventajas económicas en relación a los costos y la calidad del producto obtenido.

- El nivel de incorporación máximo de harina de haba en la formulación teórica de las dietas fueron de un 9.89% y un 9,88%, respectivamente en la dieta 43/26, lográndose para ambas un máximo de sustitución de 33% de la harina de pescado producidos por la harina de haba y el ingrediente proteico II en la dieta.
- En las dietas 43/26 y 40/30, el haba no fue la única responsable por el ahorro de harina de pescado, ya que se observa que la mayor cantidad de incorporación resulta ser para el ingrediente proteico II (IPII) y no totalmente para la harina de haba.
- Es necesario suplementar las dietas con incorporación de harina de haba con los aminoácidos metionina, arginina y lisina, no así con el aminoácido triptofano.
- La incorporación de la harina de haba de semilla descascarada para reemplazar parcialmente la harina de pescado en la formulación de alimento para salmónidos, requiere que ésta sea incorporada con otros ingredientes como fuente proteica y/o como aglomerante para que los niveles nutricionales de la dieta sean mejores que lo que ofrece solamente la harina de haba.
- Considerando un promedio de 7,1% de incorporación de harina de haba en las dietas para engorda para estos salmónidos, teniendo en cuenta que para el año presente se consume 700.000 toneladas de alimento, se necesitarían 49.700 toneladas de harina de haba descascarada, por lo que el total de superficie a sembrar con haba sería de 35.500 hectáreas, a los rendimientos promedios actuales.

6. RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la factibilidad de sustituir parcialmente la harina de pescado por una harina de origen vegetal, en este caso harina de haba, en la formulación de dietas para salmónidos. Para ello se elaboraron muestras de harinas de haba de dos tratamientos aplicados a las semillas, con el propósito de aumentar su valor nutritivo en la dieta, estos fueron: semilla entera y semilla descascarada. A las muestras de harina de cada proceso se les realizó un análisis proximal y de fósforo. Se formularon dietas teóricas con incorporación de harina de haba de semilla descascarada, además de otros ingredientes. La composición de las dietas fue basada de dietas comerciales para las distintas fases de engorda en truchas y salmónes de Atlántico y Coho. La formulación teórica de las dietas, fue optimizada mediante programación lineal a través del programa LINDO (**L**inear **I**nteractive **D**iscrete **O**ptimizer). De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis proximal y de fósforo de la harina de haba de semilla descascarada, los que fueron para proteína un 25,5%, el extracto etéreo un 1,77%, la fibra cruda un 1,32%, las cenizas un 2,66% y el fósforo un 0,35% (en base seca), se considera una opción para reemplazar parcialmente la harina de pescado en la formulación de alimento para salmónidos. El nivel de incorporación máximo de harina de haba en la formulación teórica de las dietas para truchas y salmónes del Atlántico y Coho fueron de un 9,89% y un 9,88%, respectivamente en las dietas 43/26, lográndose para ambas un máximo de sustitución de 33% de la harina de pescado, producidos por la harina de haba y el ingrediente proteico II en la dieta.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la formulación de las dietas para salmónidos, en la incorporación de harina de haba de semilla descascarada para reemplazar parcialmente la harina de pescado en la formulación de alimento para

los salmónidos, se requiere que ésta sea incorporada con otros ingredientes como fuentes proteicas y de aglomerantes para que los niveles nutricionales de la dieta sean mejores que lo que ofrece solamente la harina de haba.

Considerando que el promedio de incorporación de harina de haba en las dietas formuladas para las distintas fases de engorda de truchas y salmónes del Atlántico y Coho es de 7,1%, se necesitará sembrar una superficie de 35.500 hectáreas, si se considera que para este año se consumirían 700.000 toneladas de alimento.

SUMMARY

The principal goal of this study was the feasibility of partial substitution of fish meal for faba bean flour in the formulation of salmonid diets. Faba bean flour samples were processed in two different ways to improve their nutrition value, being seed flour and dehulled seed flour. Proximal analysis and phosphorus content analysis was performed to all samples. Theoretical diets were formulated with inclusion of dehulled seeds faba bean flour only. Formulas were based on commercial diets for different stages of trout, and Salar and Coho salmon. Diets were optimized by linear programming using the LINDO (**L**inear **I**nteractive **D**iscrete **O**ptimizer) software. According to results from proximal and phosphorus analysis the dehulled seed flour with 25,6% protein, 1,77% ether extract, 1,32% crude fiber, 2,66% ash and 0,35% phosphorous (% dry matter), was considered a good option to partially replace the fish meal in salmonids feed formulation. The maximum possible level of addition of faba bean in the diets for trouts and Salar and Coho salmon was 9,89% and 9,88%, respectively in the diets 43/26, which meant 33% of replacement for fish meal for both diets, produced for the faba meal and the proteic ingredient II, being the maximum level of substitution.

If an average addition of 7,1% for all different stages for trout and salmon diets is considered, the area to be grown with faba bean would reach the 35.500 hectares for a total consumption of 700.000 tons of fish feeding for 2002.

7. BIBLIOGRAFÍA

- AHMED, A., KHAIRI, N. y ALI, A. 1989. Effects of the time of harvest and cooking on the in vitro digestibility of faba bean protein. *Fabis Newsletter* 23: 38-40.
- AKBAR, M. y GUPTA, P. 1990. Nutritive value of faba bean (*Vicia faba* L.) seeds, fodder, and silage. *Fabis Newslwtters* 26: 38-41.
- AKIYAMA, D. 1991. The use of soy products and other plants protein supplements in aquaculture feeds. In: *Proceedings of the Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop*, Bangkok, Thailand. 8 p.
- ALI, A., EL, M., AHMED, EL A, G., y EL HANDALLOU, sir EL K.B. 1981. The utilization of faba beans and their role in diets of sudan. *Faba bean Improvement* 7: 317-318.
- ANDERSON, J., HIGGS, D., BEAMES, R. y ROWSHANDELI, M. 1997. Fish meal quality assessment for atlantic salmon (*Salmo salar* L.) reared in sea water. *Aquaculture Nutrition* 3: 25-28.
- ANDERSON, J., LALL, S., ANDERSON, D, y McNIVEN, M. 1993. Evaluation of protein quality in fish meals by chemical and biological assays. *Aquaculture* 138: 291-301.
- ARNESEN, P., BRATTÅS, L., OLLI, J. y KROGDALH, Å. 1989. Soybean carbohydrates appear to restrict the utilization of nutrients by Atlantic salmon

(*Salmon salar* L.). In: Proceedings. III International Symposium on Feeding and Nutrition in Fish. Toba, Japan. 8 p.

AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). 1995. Official methods of analysis AOAC INTERNATIONAL. Ed. Patricio Cunniff, Sixteenth Edition. USA. Chapter 4, pp4,13,25,28; Chapter 32, pp.1 and chapter 37, pp 8.

BARRAT, D., 1981. Chemical composition of mature seeds from different cultivars and lines of *Vicia faba* L. Journal Science of Food Agriculture 33: 603-608.

BASCUR, G. 1993. La lenteja y el haba en América Latina: Su importancia, factores limitantes e investigación. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas. (ICARDA). Aleppo, Syria. 153 p.

BOOTH, M., ALLAN, L., FRANCES, J. y PARKINSON, S. 2001. Replacement of fish meal for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus* IV. Effects of dehulling and protein concentration on digestibility of grain legumes. Aquaculture 196: 67-85.

BOULTIER, D. 1980. Ontogeny and development of biochemical and nutritional attributes in legume seeds. In: R. J. Summerfield & A.H. Bunting (Editors). Advances in legumes science. Royal Botanic Gardens. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Great Britain, pp. 127 – 134.

BUREAU, D. y CHO, C. 1996. An introduction to nutrition and feeding of fish. Fish nutrition research laboratory. Dept. of animal and poultry science. University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada. Pp. 33.

- BUREL, C., BOUJARD, T., TULLI, F. y KAUSHIK, S. 2000. Digestibility of extruded peas, extruded lupin, and rapeseed meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture* 188: 285-298.
- BUREL, C., BOUJARD, T., CORRAZE, G., KAUSHIK, S., BOEUF, G., MOL, K., VAN DER GEYTEN, S. y KÜHN, E. 1998. Incorporación de high levels of extruded lupin in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): nutritional value and effects on thyroid status. *Aquaculture* 163: 325-345.
- BUSHMAN, D. 1998. Best cost formulation. *Feed Mix* 6(2): 18-23.
- CAÑAS, R. 1998. Alimentación y nutrición animal. In: *Nutrición y alimentación de peces*. Colección en agricultura. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile. pp. 449-461.
- CARNOVALE, E., LUGARO, E. y LOMBARDI – BOCCIA, G. 1988. Phytic acid in faba bean and pea: effect on protein availability. *Am. Assoc. Cereal Chem. Inc.* 65: 114 – 117.
- CARTER, C. y HAULER, R. 2000. Fish meal replacement by plant meals in extruded feeds for Atlantic salmon, *Salmo salar*, L. *Aquaculture* 185: 299-311.
- CASTRO, E. 1989. Avances tecnológicos recientes en nutrición y tecnología de alimentos para salmónidos a nivel mundial. *Recursos Marinos, Fundación Chile*. Chile. 16 p.
- CHILE, FUNDACIÓN CHILE. 1995. Análisis de la Producción de Salmones y Truchas de Chile. Departamento de Recursos Marinos. 29 p.

- CHILE, FUNDACIÓN CHILE. 1998. En busca del equilibrio perfecto. *Aquanoticias* 10 (43): 6-15.
- CHO, C., SINGER, S., y BAYLEY, H. 1982. Bioenergetics of salmonids fishes: energy intake, expenditure and productivity. *Biochemistry and physiology* 73: 25-41.
- COLL, J. 1991. *Acuicultura marina animal*. Ediciones Mundi-prensa. Madrid, España. 671 p.
- COWEY, C. 1984. Aminoacid requirements of fish: A critical appraisal of present values. *Aquaculture* 124: 1-11.
- CUBERO, J. y MORENO M. 1983. *Leguminosas de grano*. Ediciones Mundi-prensa. Madrid, España. 359 p.
- DAVID, X. y PAMELL, X. 1997. *Introduction to practical linear programming*. John Wiley & Sons Inc. A Wiley-Interscience Publication. *Compendium of biochemistry and physiology*. 73 (B): 25-41.
- DUKE, J. 1981. *Handbook of legumes of world economic importance*. United states department of agriculture. Beltsville, Maryland (United States of America). 345 p.
- ESKIN, N. y WIEBE, S. 1983. Changes in phytase activity and phitate during germination of two faba bean cultivars. *Journal of Food Science* 48: 270-271.

- EXLER, J., AVENA, R. y WEIHRAUCH, J. 1977. Comprehensive evaluation of fatty acids in foods. *Journal of the American Dietetic Association* 71: 412 - 414.
- FAO, 1982. Informe sobre la situación actual de las leguminosas alimenticias en Chile. Oficina Regional para América Latina. Santiago, Chile. 98 p.
- FAROUK, A. 1982. Hard seeds in faba bean. In: Hawtin, G. & Webb, C. (Eds.): *Faba bean Improvement*. ICARDA. ISBN 90 247 25933. 6: 363 - 371.
- GIACONI, V. y ESCAFF, M. 1993. *Cultivo de hortalizas*. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 333p.
- GILLAUME, J. 1991. Las bases de la nutrición de los salmónidos. *Avances en nutrición y alimentación de salmonideos*. Apuntes primera jornada sobre nutrición y alimentación de peces. Puerto Montt. Chile. 97 p.
- GOMES, E., REMA, P. y KAUSHIK, S. 1993. Effects of dietary incorporation of co-extruded plant protein (rapeseed and peas) on growth, nutrient utilization and muscle fatty acid composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 113: 339-353.
- GOMES, E., REMA, P. y KAUSHIK, S. 1995. Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): digestibility and growth performance. *Aquaculture* 130:177-186.
- GOUVEIA, A., OLIVA, A., GOMES, E. y REMA, P. 1991. Effects of cooking/expansion of three legume seeds on growth and food utilization by rainbow trout. *Fish Nutrition in Practice* 61: 933 - 938.

- GRABNER, M. y HOFER, R. 1985. The digestibility of the proteins of broad bean (*Vicia faba*) and soya bean (*Glycine max*) under in vitro conditions simulating the alimentary tracts of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture* 48:111-122.
- GRIFFITHS, D. y JONES, D. 1977. Variation in the tannin, phytate and protease inhibitors activity of field beans (*Vicia faba*). In protein quantity from leguminous crops. Publication N° EUR 5686EN Commission of the European Communities. Luxembourg, Germany. Pp. 105-114.
- GRISDALE-HELLAND, B y HELLAND, S. 1997. Replacement of protein by fat and carbohydrate in diets for Atlantic salmon (*Salmon salar* L.) at the end of the freshwater stage. *Aquaculture* 152: 167-180.
- HALVER, J. 1989. Fish nutrition. Second Edition. Academic Press, Inc. USA. 798 p.
- HARDY, R. 1998. Nutrition and feeding of fish. In: Feeding salmon and trout. Second Edition. Kluwer Academic publishers. USA. Pp 175-197.
- HARDY, R. 1996. Alternate protein sources for salmon and trout diets. *Animal Feed Science and Technology* 59: 71-80.
- HARDY, R. y CASTRO, E. 1994. Characteristics of the chilean salmonid feed industry. *Aquaculture* 124: 307-320.
- HARDY, R. 1987. Replacement of herring oil with menhaden oil, soy bean or tallow in diets of Atlantic salmon, *Salmon salar* L. raised in marine net-pens. *Aquaculture* 65: 266-277.

- HEBBLETHWAITE, P. 1983. The faba bean (*Vicia faba L.*). University of Nottingham School of Agriculture, Cambridge, Great Britain. 573p.
- HEEN, K., MONAHAN, R. y UTTER, F. 1993. Salmon aquaculture. Published in the United States and Canada by Halsted Press, an Imprint of John Wiley & Sons, Inc., New York. 278 p.
- HELMY, R. 1987. Chemical constituents and electrophoresis of seeds proteins of some species of vicia. *Fabis Newsletter* 18: 30-32.
- HUSSEIN, I. 1982. Antinutritional factors in faba bean. *Faba bean improvement. Icarda* 6: 333-341.
- JAMALIAN, J. 1978. Flavis-inducing toxins in broad beans (*Vicia faba*). Determination of vicine content and investigation of other non-protein nitrogenous compounds in different broad bean cultivars. *Journal Science Food Agriculture* 2: 136-140.
- JOBLING, M. 1993. Salmon aquaculture In: Nutrition, diet formulation and feeding practices. Published in the United States and Canada by Halsted Press, an Imprint of John Wiley & Sons, Inc., New York. Pp. 83-126.
- KAUSHIK, S., GOUILLOU - COUSTANS, M., CHO C. 1998. Application of the recommendations on vitamin requirements of finfish by NRC (1993) to salmonids and sea bass using practical and purified diets. *Aquaculture* 161: 463-474.
- KIM, J. y KAUSHIK, S. 1992. Contribution of digestible energy from carbohydrates and estimation of protein/energy requirements for growth of rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 106: 161-169.

- KHARE, D. y SINGH, C. 1991. Genetic behavior of yield and quality traits of vicia faba L. FABIS, newslwttter 18: 3-8.
- KRARUP, C. y MOREIRA, I. 1988. Hortalizas de estación fría. Biología y diversidad cultural. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. pp. 163.
- LABUDA, S., y LABUDA, H. 1990. Chemical composition of faba bean plants at early- green and a green seed stages. FABIS, newslwttter 27: 20-23.
- LI, M. 1998. Nutrition and feeding of fish. In: Feed formulation and processing. Second Edition. Kluver Academic Publushers. USA. Pp 135-152.
- LOPEZ-BELLIDO, L. y FUENTES, M. 1986. Lupin crop as an source of protein. Advances in agronomy 40: 239-292.
- LOVELL, T. 1998. Nutrition and feeding of fish. Second Edition. Kluver Academic Publishers. USA. 267 p.
- MARQUARDT, R. 1984. Faba beans as a potencial protein rich feedstuff for poultry. FABIS, newsletters 8: 18-25.
- MARQUARDT, R., Mc KIRDY, J., WARD, T. y CAMPBELL, L. 1975. Amino acid, hemagglutinin and trypsin inhibitor levels and proximate analyses of faba beans (*Vicia faba*) and faba bean fractions. Canadian Journal of Animal Science 55: 421-429.
- MARTINEZ, C., CHAVEZ, M., OLVERA, M. y ABDO M. 1996. En: Avances en nutrición acuícola III. Memorias del Tercer simposium internacional de nutrición acuícola, 11 al 13 de nov. 1996. Fuentes alternativas de proteínas

vegetales como sustitutos de la harina de pescado para la alimentación en acuicultura. Universidad Autónoma de Nueva León. Monterrey, Nueva León, México. pp. 279-323.

MATEO, J. 1961. Leguminosas de grano. Editorial Salvat. Barcelona, España. 550 p.

MOREIRA, V. 2001. Programación lineal aplicada a la agricultura. Instituto de economía agraria. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 15 p.

MÜLLER, S. 2001. Sustitución parcial de la harina de pescado por harina de lupino (*Lupinus albus* L.) en la formulación de alimento para salmónidos. Tesis. Lic. Alimentos. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de ciencias agrarias. 115 p.

NEWAZ, N. y NEWAZ M. 1986. Funtional properties of faba bean seed flour. FABIS, Newsletter 15: 55-58.

NORDRUM, S., KROGDAHL, A., RØSJØ, C., OLLI, J. y HOLM, H. 2000. Effects of methionine, cysteine and medium chain triglycerides on nutrient digestibility, absortion of amino acids along the intestinal tract and nutrient retention in Atlantic salmon (*Salmon salar* L.) under pair-feeding regime. Aquaculture 186: 341-174.

NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL). 1993. Nutrient requeriments of fish. National Academic Press, Washington, DC. 144p.

PATEL, K. y JOHNSON, J. 1974. Horsebean as protein supplement in bread making. I. Isolation horsebean protein and its amino acid composition. American Association of Cereal Chemist 51: 693-701.

- PEÑALOZA, L. 2002. Efecto de la sustitución de la harina de pescado por harinas vegetales sobre la calidad nutritiva de dietas para salmones. Tesis. Lic. Alimentos. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de ciencias agrarias. 139 p.
- PITZ, W., SOSULSKI, F., y ROWLAND, C. 1981. Effect of genotype and environment on vicine and convicine levels in faba beans (*Vicia faba* var. *minor* (Herz) Beck). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 32: 1-8.
- RICHE, M. y BROWN, P. 1996. Availability of phosphorus from feedstuffs fed to rainbow trout, *Onchorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 142: 169-282.
- ROBERTSON, L., NAKKOUL, H. y WILLIAMS, P. 1985. The possibility of selection for higher protein in faba bean (*Vicia faba* L.). *FABIS, Newsletter* 11:11 -12.
- RODEHUTSCORD, M., GREGUS, Z., y PFEFFER, E. 2000. Effect of phosphorus intake on fecal and non-fecal phosphorus excretion in Rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) and the consequences for comparative phosphorus availability studies. *Aquaculture* 188: 383-398.
- ROMERO, J., CASTRO, E., DÍAZ, A., REVECO, M. y ZALDÍVAR, J. 1994. Evaluation of methods to certify the "premium" quality of chilean fish meals. *Aquaculture* 124: 351- 358.
- ROWLAND, G. 1977. Seed coat thickness and seed crude fibre in faba beans (*Vicia faba*). *Can. J. Plant. Sci* 57: 951-953.
- RUBIO, L., GRANT, G., BARDOCZ, S., DEWEY, P. y PUSZTAI, A. 1991. Nutritional response of growing rats to faba beans (*Vicia faba* L., *minor*) and faba bean fractions. *British Journal of Nutrition* 66: 533-542.

- RUBIO, L., BRENES, A. y CASTAÑO. M. 1990. The utilization of raw and autoclaved faba beans (*Vicia faba* L., var. *minor*) and faba bean fractions in diets for growing broiler chickens. *British Journal of Nutrition* 63: 419-430.
- SALMOFOOD. 2002. Nuestros productos. 9 p.
- SALUNKHE, D., KADAM, S. y CHAVAN, J. 1985. Postharvest biotechnology of food legumes. CRC press, Inc. California, United States. 160 p.
- SCHRAGE, L. 1997. Optimization modeling with LINDO. 5th Edition. Brooks/Cole Publishing Company. Duxbury Press. An International Thompson Publishing Co. California. USA. Pp 340.
- SJÖDIN, J. 1982. Protein quantity and quality in vicia faba. Faba bean improvement. 15:319-331.
- SJÖDIN, J., MARTENSSON, P., y MAGYAROSI, T. 1981. Selection for antinutritional substances in field bean (*Vicia faba* L.). *Z. PflZucht.* 86: 231-247.
- SMITH, L. 1989. Fish nutrition. In: Digestive functions in teleost Fishes. 2nd Edition. Academic Press, San Diego. Pp. 331-421.
- SOSULSKI, F. y McCURDY, A. 1987. Functionality of flours, proteins fractions and isolates from field peas and faba bean. *Journal of Food Science* 52: 1010-1014.
- STEFFENS, W. 1987. Principios fundamentales de la alimentación de los peces. Editorial Acribia, Zaragoza. España. 275 p.

- STOREBAKKEN, T; SHEARER, K; BAEVERFJORD, G; NIELSEN, B; ÅSGÅRD, T; SCOTT, T; DE LAPORTE, A. 2000. Digestibility of macronutrients, energy and amino acids, absorption of elements and absence of intestinal enteritis of Atlantic salmon, *Salmon salar*, fed diets with wheat gluten. *Aquaculture* 184: 115-132.
- SUGIURA, S., DONG, F., RATHBONE, C. y HARDY, R. 1998. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonids feeds. *Aquaculture* 159: 177-202.
- TACON, A. 1995. Ictiopatología nutricional. Signos morfológicos de la carencia y toxicidad de los nutrientes en los peces cultivados. Dirección de recursos y ambientes pesqueros. FAO, Departamento en Pesca. pp. 77.
- TACON, A., y DE SILVA, S. 1983. Mineral compositions of some commercial fish feeds available in Europe. *Aquaculture* 31: 11-20.
- THODESEN, J. y STOREBAKKEN, T. 1998. Digestibility of diets with precooked rye or wheat by Atlantic salmon, *Salmo salar*, L. *Aquaculture Nutrition* 4:123 – 126.
- TODOROV, N; PAVLOV, D. y KOSTOV, K. 1996. Legumes and oilseeds in nutrition. Published by Chapman & Hall. Londres. Pp. 11-123.
- TYLER, R., YOUNGS, C. y SOSULSKI, F. 1981. Air classification of legumes. I. Separation efficiency, yield and composition of the starch and protein fractions. *Cereal Chemistry* 58: 144-148.

- VALENZUELA, A. y GARRIDO, A. 1998. Importancia nutricional de los ácidos grasos poliinsaturados n-3 de cadena larga. El beneficio de su suplementación. *Revista Chilena de Nutrición* 25: 21-29.
- WALY, E. y EL-AAL, A. 1986. Combining ability for protein and cellulose content in a five-parent diallel of *Vicia faba* L. *FABIS Newsletter* 14: 4-6.
- WARSY, A., NORTON, G. y STEIN, M. 1974 Protease inhibitors from broad bean: isolation and purification. *Phytochemistry* 13: 2481-2486.
- WOODWARD, B. 1994. Dietary vitamin requirements of cultured young fish, with emphasis on quantitative estimates for salmonids. Review. *Aquaculture* 24: 133-168.
- ZEE, J., BRONDEAU, A., BOURGEOIS, M. y BRETON, R. 1988. Chemical composition and nutritional quality of faba bean (*Vicia faba* L. *minor*) based tofu. *Journal of Food Science* 53 (6): 1772-1774.