

Fecha de entrega del Informe efectiva
24 de agosto de 2006
Nombre del coordinador de la ejecución
Gabriel Yany González
Firma del Coordinador de la Ejecución

Firma del representante legal de la Entidad Responsable
 UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO

1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA PROPUESTA
Nombre de la propuesta
Curso en Fisiología Nutricional de Peces
Código
FIA-FR-V-2006-1-D-004
Entidad responsable
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO
Coordinador(a)
GABRIEL YANY GONZALEZ
Lugar donde se realizó la iniciativa de formación (región, ciudad, localidad)
VALPARAISO, VALPARAISO.
Tipo o modalidad de la actividad (curso, pasantía, otros)
CURSO
Fecha de realización (inicio y término)
17 DE JULIO DE 2006 – 21 DE JULIO DE 2006

2. ALCANCES Y LOGROS DE LA PROPUESTA

La nutrición de peces es un área técnica de alta relevancia en la salmonicultura por los impactos ambientales, económicos y sociales que se originan producto de los alimentos no consumidos y materia orgánica proveniente del metabolismo de los peces. Los desafíos actuales para la investigación y desarrollo en el tema de la nutrición y alimentación de peces, se orientan a la optimización de formulaciones de alimento que cumplan las exigencias nutricionales de los peces y que a su vez sean económicamente amigables con el medio ambiente.

De acuerdo a las conclusiones del reciente Taller *"Relevancia de los Estudios Nutricionales para el Cultivo de Especies Acuícolas: Fortalezas y Debilidades de la Investigación Científica y Tecnológica"*, realizado el 27 y 28 de febrero del año en curso, se concluyó, que para diversificar la acuicultura, es preciso disponer del conocimiento técnico para el desarrollo de dietas artificiales que cumplan con los requerimientos físicos y nutricionales de las nuevas especies, tengan buena aceptación, sean altamente digestibles y posean una baja lixiviación de nutrientes.

Actualmente la investigación sobre este tema en nuestro país, se ha avocado al estudio de reemplazos de materias primas como la harina y aceite de pescado. Es así que en este contexto, FIA apoyo, entre el 2001 y 2004, la ejecución del proyecto FIA *"Diversificación del uso del lupino, utilizándolo como fuente proteica alternativa en la alimentación de la salmonicultura"*, cuyos resultados permitieron validar científicamente el reemplazo de harina de pescado por harina de lupino hasta un 15% en las formulaciones de alimentos para la salmonicultura.

Complementariamente, es necesario desarrollar investigaciones que permitan entender cuales son los cambios fisiológicos que se producirían en los peces cuando se realizan otras sustituciones, como el reemplazo del aceite de pescado dietario por aceite de origen vegetal, cuales serían las variaciones en la digestibilidad de los alimentos y sus efectos en el medio. En otros países estos estudios ya están siendo desarrollados con aceites vegetales locales, en Chile es preciso conducirlos a la menor brevedad para entregar las respuestas requeridas por el sector acuicultor. Para ello, es importante actualizar y profundizar los conocimientos en nutrición y formulación de alimentos para definir óptimamente las estrategias nutricionales y ambientales, que maximicen los beneficios productivos, frente a la sustitución de materias primas tradicionalmente utilizadas en la elaboración de los alimentos.

Estos temas serán cubiertos en el curso, lo cual permitirá contribuir con la formación de capacidades técnicas en el área de la nutrición de peces, como lo son los futuros doctorandos del Programa de Doctorado en Acuicultura integrado por tres Universidades: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, la Universidad Católica del Norte y la Universidad de Chile, académicos e investigadores de Universidades, Institutos de Investigación, profesionales que laboran en las distintas empresas ligadas directa e indirectamente con la acuicultura y el sector agrícola. El curso taller también dará la oportunidad a que los profesionales asistentes de 20 a 30 empresas, puedan exponer sus experiencias, problemas y discutir alternativas de solución directamente con el expositor.

Los objetivos inicialmente planteados fueron :

OBJETIVO GENERAL:

Realizar curso internacional sobre Fisiología Nutricional de Peces.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Desarrollar competencias técnicas relacionadas con la nutrición y alimentación de salmones.
2. Integrar estructuras y funciones de los nutrientes alimenticios en relación a la fisiología de los peces.
3. Diseñar dietas para peces mediante el uso de software computacional de uso masivo.

Objetivos alcanzados tras la realización de la propuesta

Dando cumplimiento al objetivo general, se realizó el curso con la participación de alumnos provenientes de empresas salmoneras (X Región), empresas de fabricación de alimentos para salmones (X Región), empresas proveedoras de insumos para la industria elaboradora de alimentos (Región Metropolitana), alumnos de doctorado de Nutrición (U. de Chile), doctorado en Acuicultura (U. de Chile, U. Baja California México).

Con respecto a los objetivos 1, 2 y 3 se entregaron herramientas que permitieron integrar los conceptos básicos de nutrición y alimentación para poder ser aplicados al diseño de dietas para peces, que cumplan con los requerimientos nutricionales de éstos para un óptimo aprovechamiento fisiológico.

Resultados e impactos esperados inicialmente en la propuesta

Toda la información que se entregará (metodologías y técnicas) serán aplicables en aquellas empresas dedicadas a la producción de alimentos para la industria acuícola, tanto en la etapa de formulación y elaboración de las dietas, como también en la etapa de selección de los ingredientes a utilizar sobre todo respecto a aquellos de origen vegetal.

Además, los contenidos del curso podrán ser aplicados en aquellas empresas agrícolas, productoras de insumos para la industria de alimentos para la acuicultura, con lo cual se impulsará la producción de productos agrícolas con las características requeridas para un mejor aprovechamiento de los peces de cada uno de los nutrientes involucrados.

La contratación del Dr. Bai para la dictación del curso de Fisiología Nutricional, permitirá que los participantes puedan tener una visión integrada de todos los componentes necesarios para lograr el mejor aprovechamiento de los recursos disponibles en las dietas por parte de los peces. Lo que significa que los participantes podrán seleccionar los mejores ingredientes y utilizar estos de la mejor forma para lograr un buen desarrollo de los peces con un bajo impacto de los desechos producidos en el ambiente en que éstos son cultivados.

Los participantes del curso tendrán la oportunidad de intercambiar y discutir con el Dr. Bai sus propios proyectos innovadores en curso.

Clasificación y definición de terminología básica para el curso. Nutrientes, Nutrición, Fisiología, etc.

Mecanismos del metabolismo energético de animales en general y de peces.

Principios nutritivos a considerar en la elaboración de dietas para peces.

Nuevas técnicas y lineamientos actuales de la investigación en nutrición acuícola.

Valoración por los participantes

Análisis de la recepción por parte de los participantes de la temática abordada en la iniciativa de formación y el es posible obtener algunos de los impactos esperados, a partir de las observaciones y retroalimentación recibidas.

Buena recepción por parte de los participantes, sobre todo con respecto al nivel del expositor, además de permitirles actualizar conocimientos en bioquímica, nutrición y fisiología, lo que les permitirá considerar algunos puntos en cada una de sus áreas de trabajo, sobre todo en aquellos que se dedican a la formulación y prueba de dietas en peces.

Resultados esperados

Describir los resultados esperados que no se alcanzan inmediatamente, tales como por ejemplo, formación de una asociación, incorporación de alguna tecnología, desarrollo de un proyecto, firma de un convenio entre otros posibles.

Luego de la realización del curso existe el interés por parte de algunas empresas en trabajar en conjunto con LABCPAC de la PUCV especialmente para la prueba de algunas nuevas dietas desarrolladas para salmónidos. Como por ejemplo, la cooperación y apoyo para un(a) alumno(a) tesista en la empresa EWOS.

Aplicabilidad

Explicar la aplicabilidad actual de la iniciativa formadora en Chile (región), compararla con las tendencias y perspectivas presentadas de la iniciativa de formación y explicar la posible incorporación de las competencias adquiridos por parte de los participantes en el corto y mediano plazo, los procesos de adaptación necesarios, y los apoyos tanto técnicos como financieros necesarios para hacer posible su incorporación en nuestro país (región).

En la actualidad y debido a la constante y creciente escasez de materias primas de origen animal para la elaboración de dietas para la salmonicultura en Chile, se está buscando ingredientes que sirvan como reemplazo tanto en cantidad como en calidad nutritiva especialmente de la harina y aceite de pescado. Luego de la realización del curso es posible indicar que no es sólo necesario tener una cantidad y calidad aceptables sino que también es necesario considerar los efectos que puedan tener en el desarrollo de los peces, por lo que de igual manera se debe considerar el grado de aprovechamiento o

utilización que puede tener el pez de estos nuevos ingredientes, es decir, optimizar las dietas entregadas.

Lo anterior es posible realizarlo e implementarlo en el mediano plazo, una vez que quienes tienen a cargo la investigación y desarrollo dentro de las empresas diseñen y/o formulen nuevas dietas teniendo en cuenta lo anteriormente señalado.

Detección de nuevas oportunidades y aspectos que quedan por abordar

Se han planteado problemas que se han ido abordando para realizar un aporte futuro hacia el futuro y/o desarrollo de la industria de los diferentes temas de la propuesta, como por ejemplo la posibilidad de implementar algunas iniciativas de formación.

Indica además, en función de los resultados obtenidos, los aspectos y temas tecnológicos que son necesarios abordar para mejorar el desarrollo del futuro y/o desarrollo abordado en la industria de formación.

Al finalizar el curso se presentó la inquietud de la realización de cursos similares (en nivel) a diferentes temas y/o tópicos, que no están siendo abordados dentro de la industria en cuanto a ser presentados en forma abierta en forma de capacitaciones para aquellos que laboran en esta industria.

Dentro de las inquietudes más recurrentes se encuentran los temas como:

Respuesta inmune en peces, efectos del uso de inmunoestimulantes.

Uso de antibióticos y antiparasitarios en peces.

Impacto del uso de nuevas materias primas sobre la digestibilidad de los peces.

Tecnología relacionada con la producción de alimentos microparticulados.

Alternativas pigmentarias para la industria del salmón.

Genómica nutricional.

Ante estas sugerencias queda ciertamente la inquietud de cubrir los temas planteados con iniciativas similares a la desarrollada.

3. ASPECTOS RELACIONADOS CON LA ORGANIZACIÓN Y EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA

Programa de actividades		
17/07/2006	Introducir a los alumnos en el tema	1. Definir unidades básicas 2. Energía y nomenclatura
18/07/2006	Instruir respecto a principales nutrientes en nutrición	1. Proteínas y aminoácidos. 2. Lípidos y ácidos grasos. 3. Carbohidratos
19/07/2006	Instruir respecto a principales nutrientes en nutrición	1. Vitaminas. 2. Minerales. 3. Formulación de dietas.
20/07/2006	Poner en práctica lo aprendido	1. Formulación de alimentos (práctica)
21/07/2006	Conocer nuevas tendencias en nutrición acuícola. Cierre	Dirección futura de la acuicultura. Desarrollo de nuevas dietas. Desarrollo de dietas de baja contaminación. Nuevas técnicas para investigación.
22/07/2006	Revisión proyecto FIA FIA-PI-C-2004-1-D-089, análisis y discusión de resultados, proposición estrategias próximas actividades el proyecto	Antecedentes y resultados del proyecto FIA-PI-C-2004-1-D-089

Ficha de docentes o expositores, según el siguiente cuadro

Se deben completar estas fichas como docentes participaron en la actividad de formación

Nombre	SUNGCHUL CHARLES
Apellido Paterno	BAI
Apellido Materno	
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	Pukyong National University, Busan 608-737, Korea
Fono y Fax	(82-51) 620-6137/6874 FAX: (82-51) 628-6873/6875
E-mail	scbai@pknu.ac.kr



Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	Feeds and Foods Nutrition Research Center Pukyong National University
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Director
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Nutrición

Material elaborado

Entregar un listado del material elaborado y distribuido con motivo de la actividad. Además, se debe entregar adjunto al informe un set de todo el material desarrollado y/o entregado para la iniciativa de formación o promoción (escrito y audiovisual) ordenado de acuerdo al cuadro que se presenta a continuación.

También se deberá adjuntar fotografías correspondientes a la actividad desarrollada. El material se debe adjuntar en forma impresa y en un medio magnético (disquete o disco compacto).

Tipo de material	Nombre o identificación	Preparado por	Cantidad
Apuntes	Apuntes de Apoyo	Dr. Sungchul Bai	51 pp
Presentaciones Power Point	Exposiciones	Dr. Sungchul Bai	5
Programa	Programa para elaboración de dietas	LABCPAC	1
Bibliografía	Papers del expositor	Dr. Sungchul Bai	7
Apuntes (Español)	CAICYT	CAICYT	1
Bibliografía (PDF)	LIBRO BASICO NUTRICION	NRC	1



Programa de difusión de la actividad

En esta sección se deben describir las actividades de difusión de la iniciativa de formación adjuntando el material preparado y distribuido para tal efecto.

Para promover la información sobre la realización del curso, se informó a periodista de Aqua.cl (Portal de acuicultura chileno) vía mail. Además se envió trípticos y posters de difusión a empresas del área acuícola y agrícola (proveedores de insumos para la industria salmonera), el listado de las personas y/o empresas a las que se envió información se encuentra anexada.

De igual manera se difundió la actividad a través del portal de la pucv, <http://www.pucv.cl>, y luego de finalizado el curso se informó acerca de la actividad en el portal AQUA HOY (<http://www.aquahoy.com/modules>) información que se adjunta en cd.

Participantes en la actividad	
El llenado de este formulario a cualquier actividad deberá al menos contener la siguiente información de carácter obligatorio. Esta forma se debe completar tantas veces como personas deseen participar a la actividad de formación.	
Nombre	Carios
Apellido Paterno	Péndola
Apellido Materno	
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	Av. Presidente Eduardo Frei Montalvo 6000, Quilicura
Fono y Fax	2-4433500
E-mail	cpendola@harting.cl
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	Harting Representaciones S.A
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Asesor
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Proveedores de insumos a industria acuícola

Nombre	Paulo
Apellido Paterno	Alarcón
Apellido Materno	Bruce
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	Ruta 5 Sur KM 1170, Castro, X Región
Fono y Fax	65-534110
E-mail	palarcon@salmofood.cl
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	Salmofood S.A
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	96.677.260-3
Cargo o actividad que desarrolla	Asistente Técnico
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Fabricación de Alimentos para Peces

Nombre	Javier
Apellido Paterno	Alcaino
Apellido Materno	Aranda
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	Rudesindo Ortega 02950
Fono y Fax	45-205511
E-mail	lalcaino@udt.cl
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	Universidad Católica de Temuco
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Asistente de Investigación
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Acuicultura



Nombre	Patricio
Apellido Paterno	Campos
Apellido Materno	Sandoval
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	Ejercito 443, Puerto Montt, X Región
Fono y Fax	65-438751
E-mail	Patricio.campos@unap.cl
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	Universidad Arturo Prat
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Docente/Investigador
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Acuicultura

Nombre	María
Apellido Paterno	Cañas
Apellido Materno	Alemparte
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	Dardo Regulez 2449, Santiago, Metropolitana
Fono y Fax	2-2187789
E-mail	mquality@entelchile.net
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	Master Quality S.A
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	96.713.550-k
Cargo o actividad que desarrolla	Gerente desarrollo
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Consultorías en acuicultura.

Nombre	Fabiola
Apellido Paterno	Lafarga
Apellido Materno	De la cruz
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	Monjitas 537, Depto 31, Santiago, Metropolitana
Fono y Fax	8-8102148
E-mail	lafarga13@msn.com
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Estudiante Doctorado en Acuicultura U. Chile
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Acuicultura

Nombre	Marisela
Apellido Paterno	Carmona
Apellido Materno	Concha
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	ZENTENO 390. DEPARTAMENTO E. SANTIAGO
Fono y Fax	6721711
E-mail	marisela.camona@gmail.com
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Est. Doctorado Acuicultura ,U de Chile
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Acuicultura

Nombre	Elizabeth
Apellido Paterno	Diaz
Apellido Materno	Henriquez
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	PUTEMUN S/N - CASTRO, X Región
Fono y Fax	65-633900
E-mail	ediaz@alitec.cl
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	ALITEC. S.A
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	JEFE DE DESARROLLO
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Dietas para peces

Nombre	Cristian
Apellido Paterno	Dominik
Apellido Materno	Schrebler
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	Pedro Montt 065, Oficina 410, Pto. Montt, X Región
Fono y Fax	65-484700
E-mail	cdominik@agrosuper.com
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	Pesquera Los Fiordos Ltda.
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Trainee
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Cultivo de Peces

Nombre	Alejandro
Apellido Paterno	Karkling
Apellido Materno	Meza
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	Ruta 5 Sur Km1170, Castro, X Región
Fono y Fax	65-534110
E-mail	akarkling@salmofood.cl
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	SALMOFOOD S.A
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Asistente Técnico
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Producción de alimentos para peces

Nombre	Héctor
Apellido Paterno	Fuentealba
Apellido Materno	Soto
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	Polpaico 037, Pto. Montt, X Región
Fono y Fax	85-282000
E-mail	hfuatealba@alitec.cl
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	ALITEC S.A
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Asistente Técnico
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Producción de alimentos para peces

Nombre	Victor
Apellido Paterno	Pérez
Apellido Materno	Julio
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	Ruta 5 Sur KM 1170, Castro, X Región
Fono y Fax	65-534110
E-mail	vperez@salmofood.cl
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	Salmofood S.A
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Asistente Técnico
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Fabricación de Alimentos para Peces

Nombre	Esteban
Apellido Paterno	Parada
Apellido Materno	Aguirre
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	Polpaico 037, Pto. Montt, X Región
Fono y Fax	65-282000
E-mail	eparada@alitec.cl
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	ALITEC S.A
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Asistente Técnico
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Producción de alimentos para peces



Nombre	Natalia
Apellido Paterno	Lam
Apellido Materno	Pasten
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	Santiago
Fono y Fax	2-9786020
E-mail	natalialam@yahoo.com
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Est. Doctorado en Acuicultura
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	acuícola



Nombre	Roberto
Apellido Paterno	Lyon
Apellido Materno	Brand
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	Av. 5 de abril 3555, Estación Central, Metropolitana
Fono y Fax	2-776-0230
E-mail	lyonsilva@telsur.cl
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	Kemifar S.A
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Product Manger Aqua
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Proveedores de insumos vitamínicos a industria acuícola

Nombre	Alex
Apellido Paterno	Manriquez
Apellido Materno	Lagos
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	Av. Altamirano 1480, Valparaíso, V Región
Fono y Fax	32-274263
E-mail	Alex.manriquez@ucv.cl
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Investigador
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Investigación acuícola

Nombre	Paula
Apellido Paterno	Soto
Apellido Materno	Azócar
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	Av. Altamirano 1480, Valparaíso, V Región
Fono y Fax	32-274263
E-mail	Paula.soto@ucv.cl
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Investigador
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Investigación acuícola

Nombre	Germán
Apellido Paterno	Olivares
Apellido Materno	Cantillano
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	Av. Altamirano 1480, Valparaíso, V Región
Fono y Fax	32-274263
E-mail	German.olivares@ucv.cl
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Investigador
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Investigación acuícola

Nombre	Pamela
Apellido Paterno	Mardones
Apellido Materno	Donoso
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	
Fono y Fax	2-9781427
E-mail	Mardones.pamela@gmail.com
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Est. Doctorado Nutrición
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Nutrición

Nombre	Paola
Apellido Paterno	Navarrete
Apellido Materno	Wallace
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	
Fono y Fax	2-9781427
E-mail	pnavarre@inta.cl
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Est. Doctorado Nutrición
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Nutrición

Nombre	Karin
Apellido Paterno	Oelckers
Apellido Materno	Gil
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	AV. FUCHSLOCHER N° 1305, Osorno, x Región
Fono y Fax	64-333317
E-mail	koelckers@ulagos.cl
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	Universidad de Los Lagos
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Profesional
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Bioquímica

Nombre	Hugo
Apellido Paterno	Molina
Apellido Materno	Roa
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	Pedro Montt 065, Oficina 410, Pto. Montt, X Región
Fono y Fax	65-484700
E-mail	hroa@agrosuper.com
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	Pesquera Los Fiordos Ltda.
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Jefe de Área Melinka
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Cultivo de Peces

Nombre	Eugenio
Apellido Paterno	Saphores
Apellido Materno	Wiedmaier
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	Av. Eduardo Frei Montalva 6000, Santiago, Metropolitana
Fono y Fax	
E-mail	esaphores@harting.cl
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	HARTING Representaciones S.A
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Gerente Productos Food & Feed
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Proveedores de insumos a industria acuicola

Nombre	Rodrigo
Apellido Paterno	Silva
Apellido Materno	Escobar
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	Longitudinal sur 775, Osorno, X Región
Fono y Fax	64-241200
E-mail	rodrigo.silva@nutreco.com
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	SKRETTING
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Nutricionista
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Elaboración de alimentos para peces

Nombre	Claudio
Apellido Paterno	Tapia
Apellido Materno	D.
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	Av. Cardenal 2501
Fono y Fax	65-483866
E-mail	ctapia@salmex.com
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	Salmones Multiexport Ltda.
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Asistente Técnico Nutrición
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Nutrición de Peces



Nombre	Francisco
Apellido Paterno	Valdés
Apellido Materno	Rosas
RUT Personal	
Dirección, Comuna y Región	Ruta 226, Km 8, El Tepual, pto. Montt, XRegión
Fono y Fax	
E-mail	francisco.valdes@cl.fjordseafood.com
Nombre de la organización, empresa o institución donde trabaja / Nombre del predio o de la sociedad en caso de ser productor	FJORD SEA FOOD
RUT de la organización, empresa o institución donde trabaja / RUT de la sociedad agrícola o predio en caso de ser agricultor	
Cargo o actividad que desarrolla	Inv. y Desarrollo
Rubro, área o sector a la cual se vincula o en la que trabaja	Cultivo de peces

4. EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA

Evaluación de la iniciativa de formación

En esta sección se debe evaluar la actividad en cuanto a los siguientes ítems:

a) Efectividad de la convocatoria

Buena, hubo presencia de todos los entes de la cadena de alimentación en la industria salmonera, proveedores, fabricantes y usuarios. Además participaron 3 de las 5 empresas que elaboran alimentos para salmones en el país.

b) Grado de participación de los asistentes (interés, nivel de consultas, dudas, etc)

Bueno, la asistencia fue prácticamente de un 100%, y el nivel de consultas al expositor fue alto, además de la generación de discusiones entre todo el grupo curso y el expositor.

c) Nivel de conocimientos adquiridos por los participantes, en función de lo esperado (se debe indicar si la actividad contaba con algún mecanismo para medir este punto y entregar una copia de los instrumentos de evaluación aplicados)

La actividad contempló evaluación sólo para aquellos alumnos pertenecientes al doctorado en acuicultura, obteniéndose un nivel sobre el 90%, esta evaluación fue realizada por el expositor de la actividad Dr. Sung chul Bai. Las calificaciones por participante es anexada.

d) Problemas presentados y sugerencias para mejorarlos en el futuro (incumplimiento de horarios, deserción de participantes, incumplimiento del programa, otros)

En términos generales la organización del curso tuvo una buena evaluación en cuanto a puntualidad, asistencia y cumplimiento a cabalidad del programa presentado.

Aspectos relacionados con la postulación al programa de formación de FIA

a) Apoyo de la Entidad Responsable

☒ bueno ☐ regular ☐ malo

Justificar:

b) Información recibida por parte de FIA para realizar la postulación

☒ amplia y detallada ☐ aceptable ☐ deficiente

Justificar:

c) Sistema de postulación al Programa de Formación (según corresponda)

x ☐ adecuado ☐ aceptable ☐ deficiente

Justificar:

d) Apoyo de FIA en la realización de los trámites de viaje de expositores internacionales (pasajes, seguros, otros) (sólo cuando corresponda)

☐ bueno ☐ regular ☐ malo

Justificar: NO APLICA

e) Recomendaciones (señalar aquellas recomendaciones que puedan aportar a mejorar los aspectos administrativos antes indicados)

Mayor rapidez en efectuar depósitos.

Organización durante la actividad (indicar con cruces)

Item	Bueno	Regular	Malo
Nº asistentes	X		
Aspectos logísticos	X		
Calidad de la actividad	X		
Cumplimiento del programa y horarios	X		

En caso de existir un ítem Malo o Regular, señalar los problemas enfrentados durante el desarrollo de la actividad, la forma como fueron abordados y las sugerencias que puedan aportar a mejorar los aspectos organizacionales en futuras actividades.

5. Conclusiones Finales

El curso fue realizado con éxito, los objetivos propuestos se cumplieron a cabalidad.

Se detectó que el sector requiere de un mayor número de actividades de este tipo, en diversas temáticas.

La contribución y apoyo por parte de la Fundación para la Innovación Agraria, a este tipo de actividades es positiva no sólo en términos económicos sino al ser ésta un ente reconocido dentro del mundo acuícola lo que le da un mayor respaldo a la actividad.

ANEXO CALIFICACIONES ALUMNOS DOCTORADO EN ACUICULTURA

Apellido	Nombre	Calificación
	Maria	
Toledo	Isabel	95,1
Carmona	Marisela	93,8
Lafarga	Fabiola	91,7
Lam	Natalia	91,2

N°	Nombre	Empresa	Cargo	Dirección
1	Adela Mansilla S.	Biomar Chile s.a	Gerente Producción	Ruta 5 Sur Km 1076, Pargua-Pto Montt
2	Adolfo Alvial	INTESAL	Gerente	Anibal Pinto 297, Puerto Montt
3	Alberto Medina	Universidad de Los Lagos	Académico Depto. Acuicultura	Alberto Suchlochrt 1305, Osorno
4	Alejandro Buschmann	Universidad de Los Lagos	Investigador y Docente Centro i-mar	Casilla 557, Puerto Montt
5	Alejandro Puchi	Consultora Estudio para Negocios	Director	Pedro Montt 160, Of. 51
6	Alexis Ruiz	DesproChile S.A	G. General	Manuel Antonio Matta 2000, Santiago
7	AlfonsoGutierrez	Universidad de Los Lagos	Director Centro i-mar	Casilla 557, Puerto Montt
8	Alfredo Wendt	CONAMA	Depto Evaluacion Impacto Ambiental	San Martín 80, Piso 3, Puerto Montt
9	Alro Borquez	UCTemuco		
10	Alonso Mardones	Universidad Católica de Temuco	Académico Inv.	Manuel Montt N° 056, Temuco
11	Ana Luque C.	Agro SPES	G. Desarrollo	Panamericana norte 5299, Santiago
12	Andrés Kukuljan P	Pesquera Pacific Star S.A	Encargado Inv. Y Desarrollo	Ruta 5 815, Km.,5,2 Panitao Alto, Pto Montt
13	Andres Mansilla	Umagallanes		
14	Andrés Mena	Sumitomo Corporation Chile	Asistente Comercial	Av. Vitacura 2736,Of.602, Las Condes, Santiago
15	Andrés Rosa	ALITEC	Gerente Técnico	Polpaico 037 Puerto Montt
16	Andrés Santa Cruz L.	Soc. Nac. De agricultura	Presidente	Tenderini 187 Santiago
17	Angella Poblete Acuña	BASF-Chile		Av. Carrascal 3851, Santiago
18	Ariel Faus	Equilab Ltda	Vendedor	Camino a Chiquihue 3004, Puerto Montt
19	Arturo Candia P	IFOP	Investigador	Balmaceda 252, Puerto Montt
20	Arturo Clement	MULTIEXPORT	Gerente General	Isidora Goyenechea 3621 P. 17 Las Condes
21	Atilio Morgado	Aqua Prod	Gerente General	Ralun 1035, Puerto Varas
22	Benjamín Holmes C.	Salmones Multiexport	A. Planificación de Producción	Cardonal 2501, Puerto Montt
23	Bibiana Barrandeguy	Instituto Profesional La Araucana	Directora de Carrera Ing. Acuicultura	Urmeneta 822
24	Carlos Astudillo	Centro Imar	Asistente de Investigación	Camino a Chiquihue Km. 6 Puerto Montt
25	Carlos Breton M.	Aquamont S.a	G. Ing/Prod.	San Francisco 640, Of. D, Puerto Varas
26	Carlos Cáceres Rubio	Consultora Los Lagos	Gerente	Parque Bellavista Parcela #4, Puerto Montt
27	carlos fabres	ewos	gerente general	isidore goyenechea 3250 of 801 stgo
28	Carlos Furche	ODEPA	director nac.	Tenderini 187 Santiago

29	Carlos Pérez	Spasa	Gerente General	flor de azucenas 19 - Las Condes, Santiago
30	Carlos Valenzuela	INTA		Av Macul 5540, Santiago
31	Carlos Wurmann	Award Ltda	Director Ejecutivo Award Ltda.	Las Quilas N°3981 Vitacura, Santiago
32	Carolina Erber Soto	Revista Aqua	Periodista	benavente #870 of 903
33	Cecilia Bahamonde	Skretting	Depto. De ventas	
34	Cesar Espinoza Pinochet	Universidad de Los Lagos	Docente-Investigador	Av. Fuschlocher 1305, Osorno
35	Claudia Gatica	ALLTECH	G. Ventas	Santa Elisa 1142, Osorno
36	Claudio Casiccia S.	Universidad de Magallanes	Director de investigación	
37	Cristian Lagos	CONICYT		Canada 308, Providencia, Santiago
38	Cristóbal Vera B	Trafkin Ltda.	Ejecutivo	Av. Balmaceda 1129, Temuco
39	Daniel Varela	Universidad de Los Lagos	Investigador y Docente Centro i-mar	Casilla 557, Puerto Montt
40	Danilo Segovia Alfaro	Fundación Chile	Ingeniero de Procesos	Av. Parque Antonio Rabat Sur 6165, Vitacura, Santiago
41	Dietrich von Baer	Universidad de Concepción	Profesor	Edmundo Larenas 234, Concepción
42	Eduardo Blanco	Iale	Consultor	5 Oriente 333, Viña del Mar
43	Eduardo Trujillo Q.	Salmones Antártica S.A	Gerente de Producción	Camino a Santa Bárbara Km 12,8
44	Eduardo Vergara	Cultivos Vilipulli Ltda.	Gerente General	Irrarázaval 47, Chonchi
45	ELBA BRICEÑO	Granja Marina		Bima 053, Barrio Industrial, Puerto Montt
46	Elba Carolina Casanova Briceño	Redes E.B.H.	Gerente de Insumos	Bima 053, Pto. Montt
47	Elisa Pacheco	Universidad Arturo Prat	Investigador	Ejercito 443, Piso 2, Puerto Montt
48	Enrique Hernández	IGT	Consultor	Román Díaz 1271, Providencia, Santiago
49	Esteban Erbeta	Brokers y Servicios		Longitudinal Sur 630, Talca
50	EUGENIO YOKOTA	Pesquera Pacific Farmer Ltda		Av. Brasil 710, Calbuco
51	Ezequías Allende	Pesquera Camanchaca		Benavente 550, Piso 9, Puerto Montt
52	Felix Guzmán M.	IFOP	Director Zonal IFOP X, XI,XII	Balmaceda 252, Puerto Montt

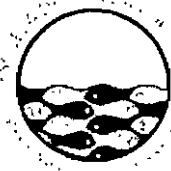
53	Fernando Mansilla	Sea salmon Ltda	Calidad	
54	Francisco Fernández	SERNAPESCA	Director Regional (X)	Urmeneta 433 Piso 2, Puerto Montt
55	Francisco Galleguillos F	IFOP	Investigador Asociado	Balmaceda 252, Puerto Montt
56	Francisco Moore	Graneles de Chile SA	Gerente Comercial	Carretera Presidente Eduardo Frei 340 Edif.Sur P.4(Carr.El Coto), RANCAGUA,
57	Francisco Serra	U. a bello	Director Ing. En Acuicultura	República 252, Santiago
58	Gastón Gacitua	IGT	Consultor	Román Díaz 1271, Providencia, Santiago
59	Germán Casanova	Asociación de cultivadores de moluscos de Calbuco	vicepresidente	Bina 053, Puerto Montt
60	Gesica Aroca S	IFOP	Investigador Asociado	Balmaceda 252, Puerto Montt
61	Giovanni Visconti	Aquatech	Director Ejecutivo	Kilometro 1013, Ruta 5, Puerto Varas
62	Gonzalo Arellano	ALITEC	Gerente General	Alcántara 44 Las Condes
63	Gonzalo Leyton	Inversiones Catrico LTDA.	Socio	Las Urbinas 53 of 12 Providencia
64	Guido Drago	Cultivos Vinycon S.A	G. Area Acuicultura	Av. Río Huasco S/N, Punta Fuerte, Caldera
65	Günter Orloff	CORFO	Ejecutivo de Fomento	Antonio Varas 590, Puerto Varas
66	Gustavo Montero P	Aquamontt Seafood Delecacies	Gerente General	San Francisco 640, Of. B, Puerto Varas
67	Hebert Bascur N.	Trafin Ltda.	Coordinador Regional	Av Juan Mackena 851, 6° Piso, Osorno
68	Héctor Beltrán Valencia	CORFO	Ejecutivo de fomento	
69	Héctor Bustos R.	Universidad Arturo Prat	Director Instituto Ciencia y Tecnología	Ejército 443, Piso 2, Puerto Montt
70	Hector Herrera Araya	Salmofood S.A.	Gerente Asistencia Técnica	Benavente 550 oficina 606
71	Heraldo Vazquez	Molinera del sur	Jefe control de calidad	Juan Solar 680 Puerto Montt
72	Hugo Arancibia	Universidad de Concepción	Prof. Dir.	Depto Oceanografía Cabina 10, Barrio Universitario, Concepción
73	Hugo Zunino	Veterquímica S.A.	Gerente Desarrollo	CAMINO A MELIPILLA 5641, Santiago
74	Humberto Pérez Velázquez	Danisco Chile S. A.	Encargado cultivo de algas	
75	Iker Uriarte	Universidad Austral de Chile	Director del Instituto de Acuicultura	Avenida Los Pinos s/n, Balneario Pelluco s/n, Puerto Montt
76	Ingrid Castillo	SERCOTEC	Programa Pesca Artesanal	San Martín 167, Puerto Montt
77	Isa Muzio Consigliere	CORFO	Ejecutivo Proyectos	
78	Iván Sierralta Zuñiga	CORFO	Subgerente de Fomento	Moneda 921 Of. 626 Santiago
79	Ivette Ortiz	Iale	Directora	5 Oriente 333, Viña del Mar
80	Ivonne Lee M.	CFT Santo Tomás	Jefe Carrera Tec. Prod. Acuicola	Buena Vecindad 91, Pto. Montt

81	Jaime Carrasco C.	Biomar Chile s.a	Sub Gerente I y D	Bernardino 1994, Pto. Montt
82	Javier Aros D.	IFOP	Investigador	Balmaceda 252, Puerto Montt
83	Johnny Blanc	Alimentos San Pablo Ltda.	Dir. Técnico	Las Huatatas 10052, Santiago
84	Jorge Arredondo	Acuicultura Mares Verdes	G. General	Gral. Bonilla 214, Calbuco
85	Jorge Garrido	IFOP		Doctor Marin 340, Coquimbo
86	Jorge Olivares Castro	CORFO	Programa Todo Chile	Moneda 921 Of. 626 Santiago
87	Jorge Tapia	Pesquera Yadrán		
88	Jose Luis García V.	Salmones Antártica S.A	Jefe De Planta	Camino a Santa Bárbara Km 12,8
89	Juan Carlos Gutierrez	CORFO	Director FONTEC	Moneda 921 Of. 626 Santiago
90	Juan Carlos Uribe	Universidad de Los Lagos	Director Depto. Acuicultura	Alberto Suchlochrt 1305, Osorno
91	Juan Enrique Illanes	Universidad del Norte	Director Acuicultura	Larrondo 1281, Coquimbo
92	Juan Villalobos	Borkers y Servicios	corredor	Longitudinal Sur 630, Talca
93	Leonidas Mansilla	Cultivos Marinos Leoman		Serrano 394, Cast ro
94	Levi Mansur	Mansur Agrícola Services Ltda.	Gerente General	Santa Teresa 46, Of. 3, Los Andes
95	Luis Andrade	NISAREDES	Gerente General	Ruta 5 Sur, Km. 1031, Puerto Montt
96	Luis Barria	Acuícola Alerce Andino	Gerente de Producción	Talca 126, Of.203, Puerto Montt
97	Magdalena Vargas	SNA	Asesor Gerencia de Desarrollo	Tenderni 187, Santiago
98	Manuel Bagnara	CORFO	Director Regional (X)	Antonio Varas 590, Puerto Varas
99	Marcela Ávila	IFOP		
100	Marcela Fuentes H.	Universidad de los lagos	Tesista	Los carrera B10 depto.41 Puerto Montt
101	Marcela Gallegos	SERNAPESCA	Unidad Pesca Artesanal	Urmeneta 433 Piso 2, Puerto Montt
102	Marcelo Arredondo	CTEC VALPO	Gerente General	PRESENTE
103	Marcelo Campos	Acuasesorías Ltda	Gerente	Etchevers 158, Of. 402, Viña del Mar
104	Marcelo Carmona	Graneles de Chile SA	Investigación y Desarrollo	Carretera Presidente Eduardo Frei 340 Edif.Sur P.4(Carr.El Cobre) , RANCAGUA,
105	María Elena Marambio Gironés	COOPRINSEM	Ing. Agrónomo	comdominio San Alfonso # 27 Pto. Varas
106	María Graciela Ortiz	Cultivos ACEX SA	G. General	Mardoqueo Fernández 156, Santiago
107	María Isabel Bustos	Cultivos Marinos Chiloé Ltda		Ruta 5 Sur, Km. 1105, Ancud
108	María Soledad Guarda F.	Universidad Arturo Prat	Investigador, Instituto Ciencia y Tecnología	Ejercito 443, Piso 2, Puerto Montt

109	Mario Rubio	Portland S A	G. Ventas	Miraflores 222, P. 15, Santiago
110	Mario Sanhueza	SEA SALMON Ltda	Dueño	Panitao Bajo sn, Puerto Montt
111	Mario Waissbluth	IGT	Director Ejecutivo	Román Díaz 1271, Providencia, Santiago
112	Marisol Alvarez	Subpesca		Bellavista 168, Piso 17, Valparaíso
113	Matias Bagnara	Cultivo Yadrán S A	J. Operaciones	Av. Capitán Luis Alcázar 115, Quellón
114	Miriam Seguel	Universidad Austral		Los Pinos s/n, Balneario Pelluco, Puerto Montt
115	Mónica Alquati	Multiexport		Isidora Goyenechea 3621 P. 17 Las Condes
116	Monica Santelices	Apablaza y Santelices Ltda	Gerente Técnico y Desarrollo	Rojas Magallanes 126, La Florida, Santiago
117	Nelsón Pérez	FUNDACION CHINQUIHUE	Gerente General	Camino Chinquihue Km 12. Casilla 43-D, Puerto Montt
118	OSCAR GUZMAN	IFOP		Balmaceda 252, Puerto Montt
119	Oscar Mansilla C.	S.A.C. A grosorno Ltda.	Gerente	Manuel Rodriguez 1053, Osorno
120	Osvaldo Galindo	Galindo y Galindo Asociados		Chacabuco 248, Castro
121	Pablo Mansilla A.	Traffkin Ltda	Gerente Area	Av. Balmaceda 1129, Temuco
122	Pablo Montes	Agrícola y Comercial Pablo Montes y Cia Ltda	G. General	Las Hualtatas 10052, Santiago
123	Pablo Valenzuela	Fundación Ciencia para la Vida	Director	Av. Maraton N°1943, Ñuñoa, Santiago
124	Patricia Allen	Embajada Británica	British Chilean Chamber of Commerce Trade Mission	Av El Bosque Norte 0125, Santiago
125	Patricio Bustamante	EXTRUTEC	G. General	Los Césares 2200, Rengo
126	Patricio Bustos	Laboratono ADL	Gerente General	Los Carrera 492, Castro
127	Patricio Ñancuvilu	Periodico Mundo Acuicola	Periodista	Urmeneta 231
128	Pedro Duisberg	ANDESUR S A	G. Comercial	Manquehue Norte 1901, Santiago
129	Pedro Salgado	BGS Ltda	Jefe de Proyectos	Santa Marta 1500, Maipú, Santiago
130	Ramón Sanz	COTRISA		Moneda n° 1040 piso 8, Santiago de Chile

109	Mario Rubio	Portland S A	G Ventas	Miraflores 222, P.15, Santiago
110	Mario Sanhueza	SEA SALMON Ltda	Dueño	Pantao Bajo sn, Puerto Montt
111	Mario Waissbluth	IGT	Director Ejecutivo	Román Díaz 1271, Providencia, Santiago
112	Marisol Alvarez	Subpesca		Bellavista 168, Piso 17, Valparaíso
113	Matias Bagnara	Cultivo Yadrán S A	J. Operaciones	Av. Capitán Luis Alcázar 115, Quellón
114	Miriam Seguel	Universidad Austral		Los Pinos s/n, Bañero Pelluco, Puerto Montt
115	Mónica Alquati	Multiexport		Isidora Goyenechea 3621 P 17 Las Condes
116	Monica Santelices	Apablaza y Santelices Ltda	Gerente Técnico y Desarrollo	Rojas Magallanes 126, La Florida, Santiago
117	Nelsón Pérez	FUNDACION CHINQUIHUE	Gerente General	Camino Chiquihue Km 12. Casilla 43-D, Puerto Montt
118	OSCAR GUZMAN	IFOP		Balmaceda 252, Puerto Montt
119	Oscar Mansilla C	S.A C. A grosorno Ltda	Gerente	Manuel Rodríguez 1053, Osorno
120	Osvaldo Galindo	Galindo y Galindo Asociados		Chacabuco 248, Castro
121	Pablo Mansilla A.	Trafkin Ltda	Gerente Area	Av Balmaceda 1129, Temuco
122	Pablo Montes	Agrícola y Comercial Pablo Montes y Cia Ltda	G. General	Las Huatatas 10052, Santiago
123	Pablo Valenzuela	Fundación Ciencia para la Vida	Director	Av Maraton N°1943, Ñuñoa, Santiago
124	Patricia Allen	Embajada Británica	British Chilean Chamber of Commerce Trade Mission	Av. El Bosque Norte 0125, Santiago
125	Patricio Bustamante	EXTRUTEC	G. General	Los Césares 2200, Rengo
126	Patricio Bustos	Laboratorio ADL	Gerente General	Los Carrera 492, Castro
127	Patricio Ñancuvilu	Periodico Mundo Acuicola	Periodista	Urmeneta 231
128	Pedro Duisberg	ANDESUR S.A	G. Comercial	Manquehue Norte 1901, Santiago
129	Pedro Salgado	BGS Ltda.	Jefe de Proyectos	Santa Marta 1500, Maipú, Santiago
130	Ramón Sanz	COTRISA		Moneda n° 1040 piso 8, Santiago de Chile

131	Raúl Arteaga	CONAMA	Director Regional (X)	San Martín 80, Piso 3, Puerto Montt
132	Rebeca Iglesias	ODEPA		Teatinos 40 Piso 8, Santiago
133	Renato Westermeier	Universidad Austral		Los Pinos s/n, Bañero Pelluco, Puerto Montt
134	Ricardo Norambuena	SUBPESCA	Jefe Unidad Acuicultura	Bellavista 168 Piso 16, Valparaíso
135	Ricardo Sramek F	The Solae Company	Gerente de Operaciones	Apoquindo 3000 Of.0403, Santiago
136	Roberto Flores	Abalones Australes		Benavente 315, Oficina 407, Puerto Montt
137	Roberto Neira	U de Chile		Av. Santa Rosa 11315, La Pintana, Santiago
138	Rodrigo Fernández	Borkers y Servicios		Longitudinal Sur 630, Talca
139	Rodrigo Gotschlich	AGROAS Ltda		Guido Beck de Ramberg 252, Padre Las Casas, Temuco
140	Rodrigo Infante	Salmón Chile A.G	Gerente General	Teatinos 40 Santiago
141	Rodrigo Silva E.	Skretting	Nutricionista	Ruta 5 Sur N°775 Osorno
142	Rolando Vega	Universidad Católica de Temuco	Decano/Cultivo-Peces	Manuel Montt N° 056 Casilla 15-D, Temuco
143	Ronald Barlow	Skretting	Gerente Técnico	Camino a Pargua 1001, Puerto Montt
144	Sandra Bravo	Universidad Austral		Los Pinos s/n, Bañero Pelluco, Puerto Montt
145	Sandra Saavedra M.	IFOP	Investigador Asociado	Balmaceda 252, Puerto Montt
146	Silvio Aldunce	Frionatur Ltda		Las Heras 2241, Concepción
147	Solange Sáez F	Nutriservice Ltda.	Gerente de Control de Calidad	J.J. Pérez 4457, Santiago
148	Sres. Technopress S.A			Benavente 840, Of. 903, Puerto Montt
				Blanco 1215, Of.510, Valparaíso
149	Tomás Fonseca	Aquambiente	Gerente	
150	VICTOR CIFUENTES	Salmón Chile A.G		Anibal Pinto 297 Puerto Montt
151	Victor Mitrano Cabezas	EXAPESCA S.A	Gerente General	Los Leones 382, Of 702, Providencia
152	Walter Masdonado	COTRISA	Asesor de Planificación	Moneda n°1040 piso 8, Santiago de Chile



Curso en Fisiología Nutricional de Peces

17 - 21 de Julio de 2006

**Escuela de Ciencias del Mar, PUCV,
Valparaíso - Chile**

**FUNDACION PARA LA INNOVACION AGRARIA,
FIA,
INTESAL Y SALMONCHILE A.G.**

**Feeds and Foods Nutrition Research Center,
Pukyong National University, Pusan, Korea,
y**

**Laboratorio de Cultivo de Peces y Alimentación para la
Acuicultura (LABCPAC), Escuela de Ciencias del Mar,
PUCV.**



e-mail: itoledo@ucv.cl Fonos: (56) (32) 274263 - 274241- 274279.

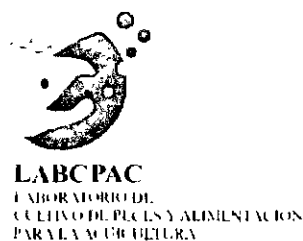
Fax: (56) (32) 274263 - 274206

CODIGO SENCE 1237761415



Curso Internacional en Fisiología Nutricional de Peces

ORGANIZAN



**17 al 21 de Julio, 2006.
Av. Altamirano 1480, Valparaíso.
Código SENCE 1237761415**

Short Course in Physiology of Fish Nutrition

July 17 to 21, 2006.

**Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso,
Av. Altamirano 1480, Valparaíso.**

Professor: Dr. Charles Bai, Ph.D., Nutrition/Physiological Chemistry. (See attached CV)

Scope of the course.

This course deals with fish oriented Fish Nutritional Physiology. Nutritional and physiological implications will be looked at, to integrate structure and functions of nutrients in Fish Physiology.

Units and Topics of the course.

Unit I.-

Introduction: 1. Define Nutritional Sciences, Biochemistry and Animal Physiology
2. Classification of Nutritionists and Nutrients

1-1. Definition of Fish Nutrition and Biochemistry:

1-2. Definition of Physiology:

1-3. Important subjects of physiology:

2-1. Nutritionists:

2-2. Nutrients:

2-2-1. Major nutrients groups: Protein, Lipids, Carbohydrates, Vitamins, Minerals and Water

Unit II.-

Energy metabolism: 1. Define the basic units
2. Energy partitioning and nomenclatures
3. Advantages of E metabolism in Fish

1-1. Calorie

1-2. Joule

2-1. Energy partitioning

2-2. Nomenclatures

3. Advantages of Energy metabolism in Fish

Unit III.-

Nutrients metabolism: 1. Protein & amino acids
2. Ammonia toxicity

1-1. Protein's structures, function and roles

1-2. Evaluation of protein quality

1-3. Nitrogen excretion (urea, uric acids, ammonia)

- 1-4. Amino acids' structure function
- 1-5. Definition of Essential Amino Acids (EAA) and NEAA
- 1-6. Definition of Biochemical Amino Acids and the Definition of Life Status
- 2-1. Ammonia Toxicity via TCA
- 2-2. via Neuro-transmitter
- 2-3. via unbalance of Cation in and out side of Cell (Na-K ATPase)

Unit IV.-

Nutrients metabolism: 1. Lipids and fatty acids
 2. Carbohydrates
 3. Vitamins
 4. Minerals

- 1-1. Utilization, Classification and Function of Lipids
- 1-2. Classification, Properties and Structures of Fatty acids
- 1-3. Definition and Synthesis pathway of Essential Fatty Acids
- 2-1. Classification and Function of Carbohydrates
- 2-2. Properties and Structures of Carbohydrates
- 2-3. Essentiality of Carbohydrates and New Concept of Carbohydrates in Nutrition
- 3-1. Classification and Function of Vitamins
- 3-2. Properties and Structures of Fat Soluble Vitamins
- 3-3. Properties and Structures of Water Soluble Vitamins
- 4-1. Definition and Function of Minerals
- 4-2. Major Minerals
- 4-3. Semi-essential Minerals

Unit V.-

Feeds, Feed stuffs and Feed formulation: 1. Feeds and Feed stuffs
 2. Feed formulations and practice

- 1-1. Classification of Feeds (FAO)
- 1-2. International Feed Number(My Book and FAO)
- 1-3. Quality Control requirements for Fish meal and Fish oil (My Book and FAO)
- 2-1. Basic concepts of computer feed formulation
- 2-2. Feed formulation practice I with 2-4 feeds stuffs for flounder(tables)
- 2-3. Feed formulation practice II
- 2-4. Feed Formulation practice III

Unit VI.-

Aquaculture and New area of research: 1. Direction of future aquaculture
 2. Fish nutrition research review
 (1) Develop new species diets
 (2) Develop low pollution diet
 (3) New techniques for research

- 1-1 Current status and future prospects of World Aquaculture
- 2-1 Develop new species diets (Korean rockfish)
- 2-2 Develop low pollution diets (Flounder)
- 2-3-1 New techniques for research (Operation Techniques in trout)
- 2-3-2

Unit I Introduction:

1. Define Nutritional Sciences, Biochemistry and Animal Physiology
2. Classification of Nutritionists and Nutrients

1-1. Definition of Fish Nutrition and Biochemistry:

1-2. Definition of Physiology:

1-3. Important subjects of physiology:

2-1. Nutritionists:

2-2. Nutrients:

2-2-1. Major nutrients groups: Protein, Lipids, Carbohydrates, Vitamins and Minerals

1-1. Definition of Fish Nutrition and Biochemistry

Nutrition is the study of nutrients metabolism in living organisms. This covers the ingestion of food, digestion, absorption and utilization of the ingested food and excretion of waste materials.

Fish Nutrition: Fish Nutrition is the study of nutrient metabolism in fish, which includes the ingestion of food by the fish, digestion, absorption and utilization of the ingested food and excretion of waste materials.

Two different approaches to study fish nutrition

- (1) As a fish biologist, physiologist, or ecologist studying the nutritional aspects of fishes. This approach was used very often in field studies, i.e. food chain, stomach content analysis, prey selection, optimum foraging, feeding behavior, etc. to monitor and describe the feeding and nutrition of fishes.
- (2) As a nutritionist just happen to use fish as an experimental model. This approach tends to rely heavily on growth trials to determine the essential nutrient requirements, utilization of nutrients, and diet formulations, etc. for fishes. They usually conducted under well controlled conditions.

Biochemistry: Biochemistry is the study of chemical reactions occurring in living organisms.

1-2. Definition of Physiology

The study of how living organisms function including such processes as nutrition, movement and reproduction. The branch of biology dealing with the functions and activities of living organisms and their parts, including all physical and chemical processes is known as physiology.

1-3. Important subjects of physiology:

1-3-1. Digestive physiology of animal:

Although there are numerous anatomical differences among different species, the principles of digestion and absorption are quite similar on a physiological basis. The process of digestion is a coordinated combination of physical, chemical and enzymatic activities. Digestion starts from the mouth (as soon as food is taken into the mouth) and ends at anus (when feces are excreted from the anus). In stomach, hydrolysis and break down of compounds occur at low pH (in presence of HCl and other acids). Here proteolytic enzyme (mostly pepsin) splits protein molecule. In non-ruminant animals, the small intestine is the primary site of both digestion and absorption. Here in an alkaline environment, proteolytic enzymes (from pancreas and intestine), amylases (from pancreas and intestine) and lipases (from pancreas and liver) split protein, carbohydrate and lipid, respectively. Then absorption can be taken place by the following three ways:

- Diffusion into mucosal cells
- Phagocytosis/pinocytosis by mucosal cells
- Active transport via carrier molecules

After absorption, the undigested fecal materials are excreted through anus.

1-3-2. Circulatory system

The circulatory system (sometimes cardiovascular system) is made up of the vessels and the muscles that help and control the flow of the blood around the body. This process is called circulation. The main parts of the system are the heart, arteries, capillaries and veins. As blood begins to circulate, it leaves the heart from the left ventricle and goes into the aorta. The aorta is the largest artery in the body. The blood leaving the aorta is full of oxygen. This is important for the cells in the brain and the body to do their work. The oxygen rich blood travels throughout the body in its system of arteries into the smallest arterioles. On its way back to the heart, the blood travels through a system of veins. As it reaches the lungs, the carbon dioxide (a waste product) is removed from the blood and replaced with fresh oxygen that we have inhaled through the lungs.

This is the general feature of blood circulation in almost all animals although there are some differences from species to species. There are three types of circulatory systems:

I) No circulatory system:

Flatworm, for example, has no blood circulation system. Their cell uptakes nutrients, water and oxygen without the need of a transport system.

II) Open circulatory system:

Some invertebrates (like mollusks and arthropods) belong to this type of system where there are some cavities, hemocoel, filled with hemolymph in their body. Hemolymph is not only blood rather it is a mixture of blood and intestinal fluid. This cavity bathes the organ directly and the organ gets oxygen and nutrients thereby.

III) Closed circulatory system:

In this system blood never leaves the system of blood vessels consisting of arteries, capillaries and veins; hence this name. All vertebrates belong to this system.

1-3-3. Respirations

1-3-4. Neurophysiology

1-3-5. Reproductive physiology

1-3-6. Systemic physiology

a. Form and movement b. Thermal regulation c. Osmoregulation d. Ionic regulation e. Freezing resistance f. Acid base balance

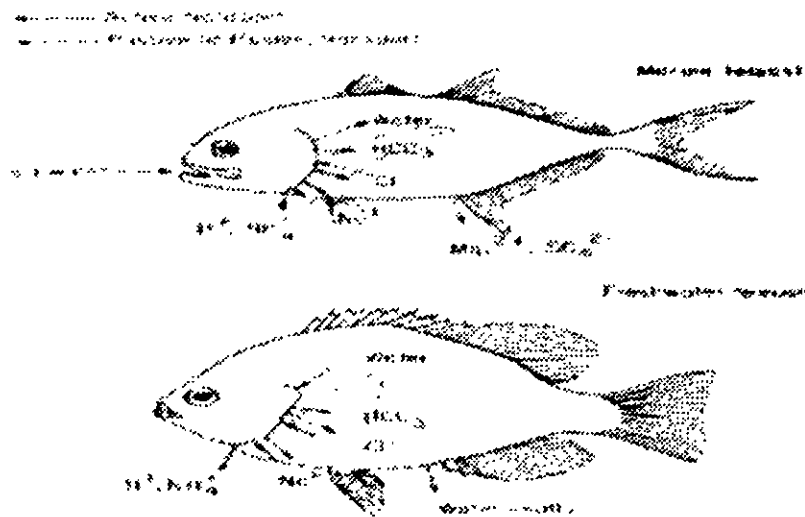


Figure 10.1: The fish and its internal anatomy and circulatory system.

2-1. Nutritionists

The scientists who are working with almost all aspects of nutritional sciences are called nutritionists.

1. Nutritionist

A. Human nutritionist

B. Animal nutritionist

- (1) Ruminant animal nutritionists
- (2) Monogastric animal nutritionist
 - o a. Poultry/bird nutritionists
 - o b. Companion animal nutritionist
 - o c. Fish nutritionist (finfish, shellfish, mollusc etc)
 - o d. Laboratory animal nutritionist
 - o e. Other specific type of animal nutritionist

2-2. Nutrients

2-2-1. Major nutrients groups

The nutrients in fish nutrition can be classified into six nutrient groups as follows:

Proteins: The need for proteins by fish is actually the need for the essential amino acids (Arginine, Histidine, Isoleucine, Leucine, Lysine, Methionine, Phenylalanine, Threonine, Tryptophan and Valine) and the non-essential amino acids (Alanine, Asparagine, Aspartate, Cysteine, Glutamate, Glutamine, Glycine, Proline, Serine and Tyrosine). Proteins serve as one of the three energy sources among other roles and are required in large quantities.

Lipids: lipids are a chemically diverse group of compounds, the common and defining feature of which is their insolubility in water. The biological functions of the lipids in fish are diverse. The fats and oils used as stored forms of energy in fish are highly reduced compounds, derivatives of fatty acids. The essential fatty acids (EFA) for fish include linoleic acid (18:2n-6) and/or alpha linolenic acid (18:3n-3) for freshwater fish as well as Docosahexaenoic acid (DHA) and Eicosapentaenoic acid (EPA) for marine species.

Carbohydrates: The availability of carbohydrates as energy source for fish varies from species to species but is generally low. Carbohydrates include monosaccharide, disaccharides, oligosaccharides and polysaccharides.

Vitamins: Vitamins are organic molecules that act as cofactors or substrates in some metabolic reactions. They are generally required in relatively small amounts in the diet and, if present in inadequate amounts, may result in nutrition-related diseases, poor

growth or increased susceptibility to infections. They include the water-soluble vitamins (Thiamin, Riboflavin, Pyridoxine, Pantothenic acid, Niacin, Biotin, Folic acid, Cyanocobalamin, Ascorbic acid, Inositol and Choline) as well as the fat-soluble vitamins (Vitamins A, D, E and K).

Minerals: These are involved in formation of skeletal structure, maintenance of colloidal systems (osmotic pressure, viscosity, diffusion), and regulation of acid-base equilibrium. They are important components of hormones, enzymes, and activators of enzymes. They include the macroelements (Potassium, Sodium, Calcium, Magnesium, Phosphorus, Chloride and Sulfur) and the microelements (Iron, Copper, Zinc, Manganese, Molybdenum and Selenium).

Water: Water is the most abundant substance in living systems. Water pervades all portion of every cell of fish and is the medium in which the transport of nutrients, the enzyme-catalyzed reactions of metabolism, and the transfer of chemical energy occur. Water is obtained from the natural habitat of fish.

Unit II

Energy metabolism:

1. Define the basic units
2. Energy partitioning and nomenclatures
3. Advantages of E metabolism in Fish

- 1-1. Calorie
- 1-2. Joule
- 2-1. Energy partitioning
- 2-2. Nomenclatures
3. Advantages of energy metabolism in fish

1-1. Calorie

One calorie is defined as the amount of heat energy required to increase the temperature of one gram of water 1°C from 14.5 to 15.5°C.

$$1 \text{ calorie (cal)} = 4.18 \text{ joules (J)}$$

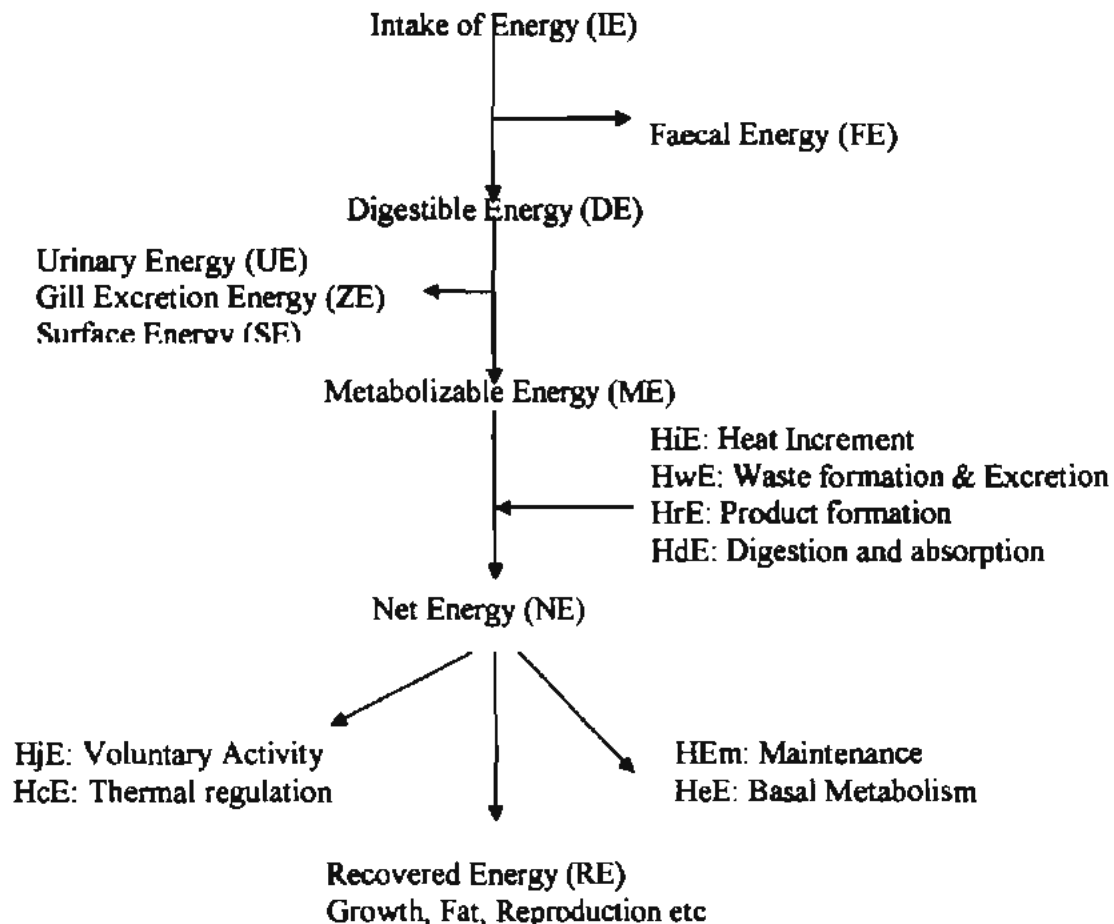
1-2. Joule

The standard international unit for expressing mechanical, chemical or electrical energy, as well as the concept of heat. One joule is defined as the amount of energy exerted when a force of one newton (standard international unit of force, force required to accelerate 1m per second with 1 kg of material) is applied over a displacement of one meter. One joule is the equivalent of one watt of power radiated or dissipated for one second.

$$4.18 \text{ joules} = 1 \text{ calorie}$$

2-1. Energy partitioning

Energy is required for maintaining the physiochemical environment of the intact animal and for sustaining the electromechanical activities that define the organism. The major body store of energy is adenosine triphosphate (ATP) and other high-energy phosphate bonds. Animals consume food for energy. This food goes through an intricate metabolic pathway and eventually produces energy as ATP. In mitochondria (power house of cell), ATP burns into energy as required by the different organelles /organs of the body and distributed accordingly. This energy distribution or partition can be, for easy understanding, shown in the below adapted from the previous publication (NRC, 1981).



2-2. Nomenclatures

Intake energy (IE) is the gross energy (GE) consumed by an animal in its food. The majority of intake energy is present in the form of carbohydrate, protein and/or lipid.

Fecal energy (FE) is the gross energy of the faeces. Faeces consist of undigested food and metabolic products, which may include sloughed gut epithelial cells, digestive enzymes and excretory products.

The digested energy within a food is called the apparent digestible energy (DE) and is determined as the energy in food minus the energy in faeces:

$$DE = IE - FE$$

Urinary energy (UE) is the gross total energy in urinary products. It includes energy of compounds absorbed from the food but not utilized and the energy of products of metabolic processes such as ammonia.

Gill excretion energy (ZE) is the gross energy of the compound excreted through the gills of aquatic animals. Its equivalent in mammalian energetics is the energy of the compounds excreted through the lungs. However, in mammals this energy is extremely low and generally not considered. In fish ZE can be quite high and may constitute a major component of the energy balance of an aquatic organism.

Surface energy (SE) is the energy lost from the surface of an organism. In aquatic organisms, this may take the form of mucus or scales sloughed from the skin.

Metabolizable energy (ME) is the energy in the food less the energy lost in faeces, urine and through excretion from the gills. It is the energy available for the conduct of the metabolic processes of an animal. It may be described by the equation:

$$ME = DE - (UE + ZE + SE)$$

$$ME = (IE - FE) - (UE + ZE + SE)$$

The difference between ME and energy recovered as growth and/or reproductive products (RE) is energy lost as heat (HE). Heat loss occurs primarily by two processes: the heat increment of feeding (HiE) and maintenance heat loss (HEm).

The HiE is the increase in heat production subsequent to ingestion of feed. The factors contributing to HiE are the digestion and absorption processes (HdE), the transformation and interconversion of the substrates and their retention in tissues (HrE), and the formation and excretion of metabolic wastes (HwE).

Net energy is the energy that is useful to the animal for maintenance and growth. It is the Metabolizable energy (ME) less the heat increment of feeding (HiE).

Maintenance energy (HEm) is that required to maintain those functions of the body immediately essential to life. A major portion of this maintenance energy is spent for basal metabolism (HeE), such as respiration, transport of ions and metabolites, body constituent turnover, and circulation. A smaller portion is spent for voluntary or resting activity (HjE) and, in the case of homeothermic animals, thermoregulation of body temperature. Since fish do not regulate body temperature and they expend less energy in

maintaining position in the water than do terrestrial animals in maintaining their posture, the Hem requirement of fish is lower than for homeotherms.

Retained energy (RE) is that portion of the energy contained in the food that is retained as part of the body or voided as a useful product such as gametes. The aim of nutrition in aquaculture is to maximize RE and minimize all other energy losses in a cost-effective manner, whilst maintaining an acceptable body composition of the end product.

The energy balance of an organism therefore can be described by the equation:

$$\text{IE (or GE)} = \text{FE} + \text{DE}$$

$$\text{IE} = \text{FE} + (\text{UE, ZE, SE}) + \text{ME}$$

$$\text{IE} = \text{FE} + (\text{UE, ZE, SE}) + (\text{HiE, HwE, HrE, HdE}) + \text{NE}$$

$$\text{IE} = \text{FE} + (\text{UE, ZE, SE}) + (\text{HiE, HwE, HrE, HdE}) + (\text{HEm, HeE, HjE, HcE}) + \text{RE}$$

3-1. Advantages of energy metabolism in fish

Advantages of aquaculture from the nutritional point of view. It requires less energy to produce fishes because:

- 1) The specific gravity of fishes is close to 1 and they have a neutral buoyancy in water, thus require less energy to maintain their body weight. Due to the buoyancy of water, fish spend less energy in maintaining position in the water than do terrestrial animals in maintaining their posture.
- 2) Because most fish, as cold-blooded vertebrates or ectotherms, within the zone of thermal neutrality do not regulate their body temperature; hence, the heat of thermal regulation is insignificant. However, warm-blooded vertebrates have to keep their body temperature within a certain range (i.e. 36.5°C for human).
- 3) Fish are ammonotelic animals require less energy to excrete their nitrogen waste than uricotelic or ureotelic animals converting ammonia to uric acid or urea. Protein is not clean fuel. Left over nitrogen should be excreted outside of the animal body. Most mammal produce urea through urea cycle, and birds and reptile produce uric acid (pentose pathway)
- 4) Fish have better feed efficiency (fish 1.2 to 2, Rainbow trout 1.5; Catfish 1.8; poultry 2.0; pig 4.0; Cow 8 to 20).
- 5) Fish have a high fecundity and reproductive performance such as more spawning frequency and more eggs than do terrestrial animals.

Unit III

Nutrients metabolism:

1. Protein & amino acids
2. Ammonia toxicity

- 1-1. Protein's structures, function and roles
- 1-2. Evaluation of protein quality
- 1-3. Nitrogen excretion (urea, uric acids, ammonia)
- 1-4. Amino acids' structure function
- 1-5. Definition of Essential Amino Acids (EAA) and NEAA
- 1-6. Definition of Biochemical Amino Acids and the Definition of Life Status
- 2-1. Ammonia Toxicity via TCA
- 2-2. via Neuro-transmitter
- 2-3. via unbalance of Cation in and out side of Cell (Na-K ATPase)

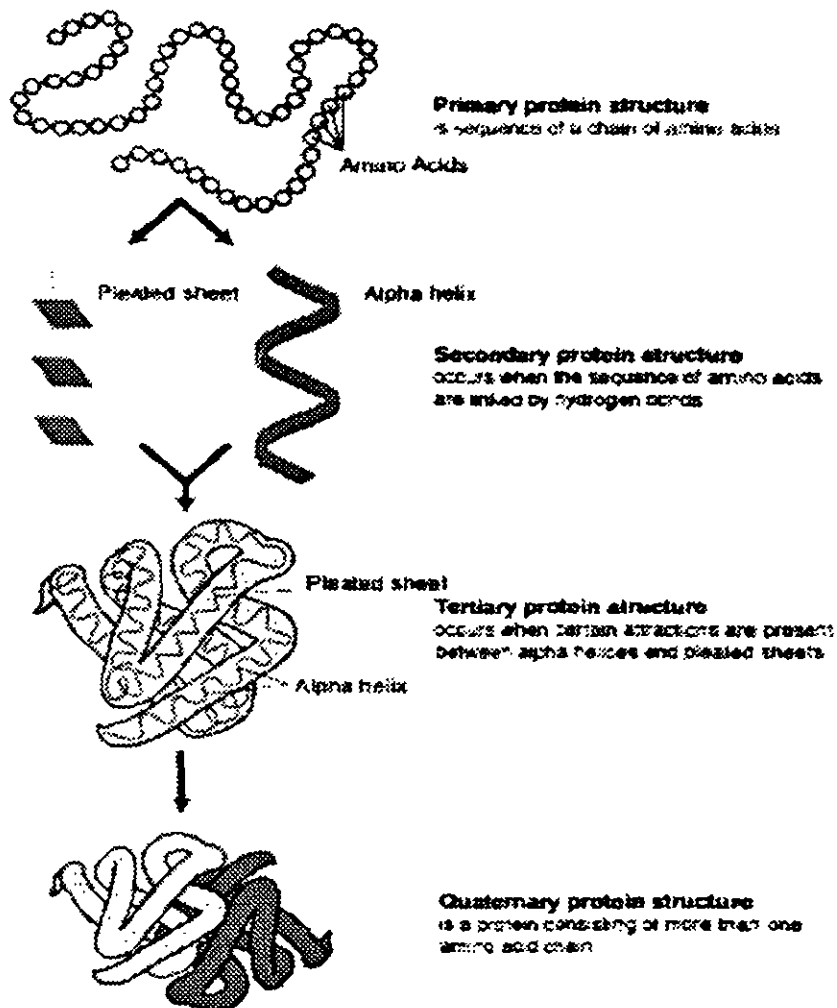
1-1. Protein's structures, function and roles

Protein's structures: Proteins are not linear molecules as suggested when we write out a "string" of amino acid sequence, -Lys-Ala-Pro-Met-Gly- etc., for example. Rather, this "string" folds into an intricate three-dimensional structure that is unique to each protein. It is this three-dimensional structure that allows proteins to function. Thus in order to understand the details of protein function, one must understand protein structure.

Protein structure is broken down into four levels:

- **Primary structure:** The **linear sequence** of amino acids in a protein chain determined by the genetic information of the gene for each protein. It results from the covalent bonding between the amino acids in the chain (peptide bonds). Each protein has a different primary structure with different amino acids in different places along the chain.
- **Secondary structure:** **Folding** of the primary structure of a protein into an α -helix or a β -pleated sheet. Folding is maintained by hydrogen bonds between the amide hydrogen and the carbonyl oxygen of the peptide bond. Different regions of a protein chain may have different types of secondary structure.
- **Tertiary structure:** The globular, **three-dimensional structure** of a protein that results from folding the regions of secondary structure. This folding occurs spontaneously as a result of interactions of the side chains or R groups of the amino acids. The forces that help maintain the tertiary structure of a protein are hydrogen bond, ionic bond, disulfide bond, and hydrophobic attraction.

- **Quaternary structure:** Involves the association of two or more polypeptide chains into a multi-subunit structure. Quaternary structure is the stable association of multiple polypeptide chains resulting in an active unit. Here also works the four forces to hold the quaternary structure stable eg. hydrogen bond (between polar amino acids), ionic bond (between oppositely charged amino acids), disulfide bond (also called disulfide bridge, a strong covalent bond between two sulfhydryl (-SH) groups), and hydrophobic attraction (between non-polar amino acids). For example- the protein hemoglobin has quaternary structure.



Roles of dietary protein:

- supply essential amino acids
- supply nitrogen to synthesize non-essential amino acids
- supply sulfur

*** Only protein can supply nitrogen and sulfur. These two elements are unavailable from fats and carbohydrates, the other major classes of food molecules.

In addition to their dietary importance, the proteins carry out most of the work in a cell. The biological functions performed by protein are as follows:

Function	Description	Examples
Antibody	Antibodies bind to specific foreign particles, such as viruses and bacteria, to help protect the body.	Immunoglobulin G (IgG)
Enzyme	Enzymes carry out almost all of the thousands of chemical reactions that take place in cells. They also assist with the formation of new molecules by reading the genetic information stored in DNA.	Phenylalanine hydroxylase
Messenger	Messenger proteins, such as some types of hormones, transmit signals to coordinate biological processes between different cells, tissues, and organs.	Growth hormone
Structure	Provide mechanical support to large animals and provide them with their outer coverings.	Keratin
Transport/storage molecule	These proteins bind and carry atoms and small molecules within cells and throughout the body.	Ferritin

1-2. Evaluation of protein quality

There are different methods for protein quality evaluation which are listed below:

$$1. \text{ Protein efficiency ratio (PER)} = \frac{\text{gain in body weight (g)}}{\text{protein consumed (g)}}$$

Values are normally in the 1-4 range. Value near 2 indicates poor quality protein whereas 4 indicates good quality protein.

$$2. \text{ Net protein utilization (NPU\%)} = \frac{\text{protein (N) gain in fish (g)}}{\text{(N)intake in food (g)}} \times 100$$

$$3. \text{ Relative nutritive value (RNV)}$$

$$4. \text{ Biological value (BV)} = \frac{\text{N retained}}{\text{N absorbed}} \times 100 \quad (\% \text{ absorbed N retained})$$

$$\{N \text{ intake} - (\text{fecal N} - \text{metabolic fecal N}) - (\text{urinary N} - \text{endogenous urinary N})\}$$

$$BV = \frac{N \text{ intake} - (\text{fecal N} - \text{metabolic fecal N})}{\text{N intake} - (\text{fecal N} - \text{metabolic fecal N})}$$

Metabolic fecal N and endogenous urinary N are the quantity of N excreted while animal is fed a protein free diet.

$$\% \text{ limiting amino acid in expt. protein} \times 100$$

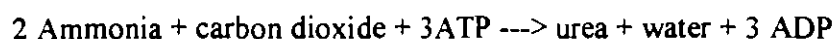
$$5. \text{ Chemical score (CS)} = \% \text{ same amino acid in reference protein}$$

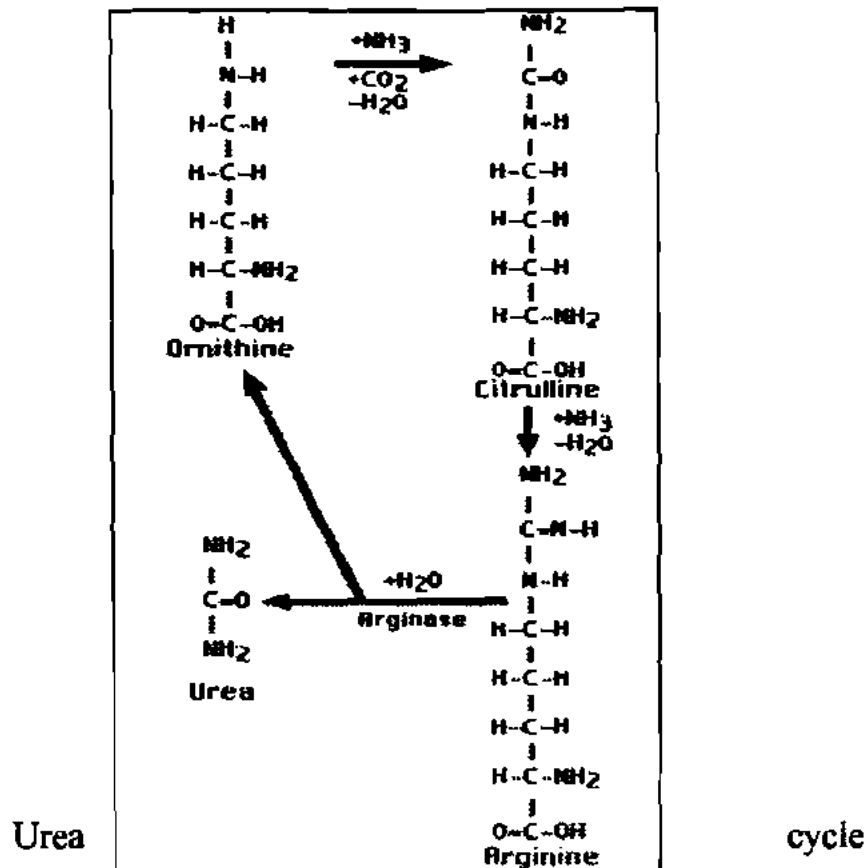
1-3. Nitrogen excretion (ammonia, urea and uric acids)

Ammonia, the product of oxidative deamination reactions, is toxic to the nervous system even small amounts and its accumulation rapidly causes death. Therefore it must be detoxified to a form which can be readily removed from the body. NH_3 represents 70 to 90% of the total nitrogenous waste in fish (Mommensen and Walsh, 1992) with 5 to 15% excreted as urea depending on the species of fish (Dosdat *et al.*, 1996). Maximum fish excrete NH_3 as nitrogenous waste rather than urea and uric acid. Synthesis of urea and uric acid from NH_3 consumes energy, thus mammals and birds derive less metabolic energy from amino acid catabolism than do fish. This is a beneficial aspect for fish and this may be a cause why fish use protein as well as amino acids for their major energy source. The marine bony fish, although living in water which is more concentrated than their body fluids, are able to osmoregulate by excreting salt through their gills. The elasmobranchs (**Sharks, Skates, and Rays**) do not maintain the salinity of their body fluid in this way. Rather they produce urea from NH_3 and use high concentration of urea in their body fluids to prevent dehydration and salt accumulation. However, even fish do not have large concentrations of ammonia in the blood because it is excreted as the amide in glutamine. Glutamine is carried to a membrane in the gills near the surrounding water where a hydrolysis of the glutamine to glutamic acid releases the ammonia.

Birds, insects, lizards and snakes convert the waste products of protein metabolism as well as nucleic acid metabolism into **uric acid** (whitish portion of their excreta). Because of its low solubility in water, these animals are able to eliminate waste nitrogen with little loss of water. Urea is the major end product of nitrogen metabolism in humans and mammals. **Humans** excrete **urea** and secondly **uric acid** as nitrogenous waste. But, uric acid is the product of **nucleic acid**, not protein, metabolism. Uric acid is only slightly soluble in water and easily precipitates out of solution forming needlelike crystals of sodium urate. These contribute to the formation of kidney stones; produce the excruciating pain of **gout** when deposited in the joints. Most mammals have an enzyme — **uricase** — for breaking uric acid down into a soluble product.

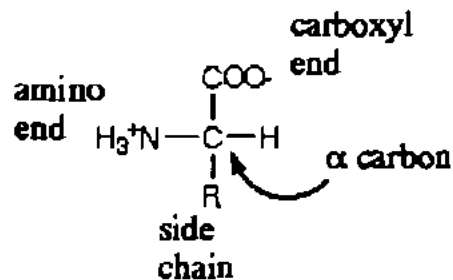
The **urea cycle** or the ornithine cycle describes the conversion reactions of ammonia into urea. Since these reactions occur in the **liver**, the urea is then transported to the kidneys where it is excreted. The overall urea formation reaction is:



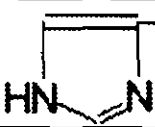
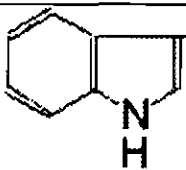
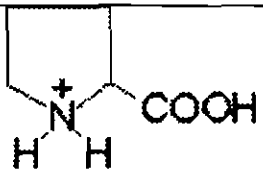


1-4. Amino acid's structure & function

Amino acid's structure: Amino acids are the building blocks of proteins. An α -amino acid consists of a central carbon atom, called the α carbon, linked to an amino group, a carboxylic acid group, a hydrogen atom, and a distinctive R group. All amino acids have the same general formula.



Amino Acid	Symbol	Structure
Amino Acids with Aliphatic R-Groups		
Glycine	Gly - G	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
Alanine	Ala - A	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
Valine	Val - V	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \quad \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \quad / \\ \text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
Leucine	Leu - L	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \quad \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \quad / \\ \text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
Isoleucine	Ile - I	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \quad \quad \\ \text{H}_3\text{C} \quad \text{NH}_2 \end{array}$
Non-Aromatic Amino Acids with Hydroxyl R-Groups		
Serine	Ser - S	$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
Threonine	Thr - T	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \quad \text{HO} \\ \diagdown \quad / \\ \text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
Amino Acids with Sulfur-Containing R-Groups		
Cysteine	Cys - C	$\begin{array}{c} \text{HS}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
Methionine	Met-M	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{S}-(\text{CH}_2)_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
Acidic Amino Acids and their Amides		
Aspartic Acid	Asp - D	$\begin{array}{c} \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
Asparagine	Asn - N	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \quad \\ \text{O} \quad \text{NH}_2 \end{array}$
Glutamic Acid	Glu - E	$\begin{array}{c} \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
Glutamine	Gln - Q	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \quad \\ \text{O} \quad \text{NH}_2 \end{array}$
Basic Amino Acids		

Arginine	Arg - R	$ \begin{array}{c} \text{HN}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \qquad \qquad \qquad \\ \text{C}=\text{NH} \qquad \qquad \text{NH}_2 \\ \\ \text{NH}_2 \end{array} $
Lysine	Lys - K	$ \begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array} $
Histidine	His - H	$ \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array} $ 
Amino Acids with Aromatic Rings		
Phenylalanine	Phe - F	 $ \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array} $
Tyrosine	Tyr - Y	 $ \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array} $
Tryptophan	Trp-W	 $ \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array} $
Imino Acids		
Proline	Pro - P	

*Backbone of the amino acids is red, R-groups are black

Function of amino acids: Amino acids fulfill multiple metabolic functions in the human body.

- Amino acids act as building blocks for proteins and as precursors for hormones, neurotransmitters, antioxidants, nucleic acids and other complex body constituents.
- They also are used for energy once the body has metabolized all carbohydrate sources (glycogen).

Other than for protein synthesis, amino acids play the following roles:

Amino acids	Selective functions
Arginine	vasodilatation, radical scavenging
Arginine, BCAA, Glutamic Acid	NH ₃ detoxification and transport
Arginine, Glutamine	Growth hormone secretion
Cysteine, Arginine, Glutamine	Stimulation and stabilization of immune system
Cysteine, Glutamine	Body cell mass maintenance
Cysteine	Antioxidant; radical scavenging
Glutamine	Improved mental and physical performance
Methionine	Urine acidification, wound healing
Phenylalanine, Tyrosin	Precursor for hormones and neurotransmitters (dopamine)

***BCAA = branched chain amino acid

1-5. Definition of EAA and NEAA

Essential amino acid: Amino acids that can not be synthesized by humans and other vertebrates, and must be obtained from the diet. The essential amino acids (EAA) are synthesized in micro-organisms (bacteria and yeasts having N₂ fixation ability from atmosphere which lacks in higher organisms) and passed through the food chain until they reach us in our diet.

The essential amino acids are: Isoleucine, Leucine, Lysine, Methionine, Phenylalanine, Threonine, Tryptophan and Valine.

Nonessential amino acids: Amino acids that can be synthesized by humans and other vertebrates from simpler precursors, and are thus not required in the diet.

The non-essential amino acids are: Alanine, Arginine, Asparagine, Aspartic acid, Cysteine, Glutamic acid, Glutamine, Glycine, Histidine*, Proline, Serine and Tyrosine.

* Histidine is essential for babies but not for adults.

1-6. Definition of Biochemical amino acids and life status

Biochemical amino acids: It is believed to have 104 – 110 amino acids available but among them only 20/22 plays important role in protein synthesis. These 20/22 amino acids are called Biochemical amino acids. Therefore, EAA + NEAA + Selenocysteine (21st) + Hydroxylysine (22nd) = Biochemical amino acids.

Life status: The status of life is nothing but protein synthesis according to the genetic information.

2-1. Ammonia toxicity via TCA

Ammonia is extremely toxic to animal. Therefore, animal system is so designed that they readily convert ammonia into either urea or uric acid. Maximum fish excrete ammonia as it is rather than convert into urea or uric acid. If it is not, then what would be?

When NH_3 increases it reacts with α -ketoglutarate (α -KG), an intermediate product of TCA cycle in the presence of GDH (Glutamate dehydrogenase). GDH facilitates the following reaction and depletes α -KG from the running TCA cycle. Thus, TCA can not maintain the way of its normal running. It slows down and finally collapses.



2-2. via neuro-transmitter

Glutamate increases at the same time NH_3 increases in the blood. Glutamate is the precursor for GABA (Gamma-aminobutyric acid), an inhibitory neurotransmitter found in the nervous systems of widely divergent species. Therefore, GABA increases substantially and affects the central nervous system (CNS). As a result, CNS loses all of its normal control.

2-3. via unbalance of cation in & out of the cell (Na-K ATPase)

For its normal function, cells need to have a balance of cation (Na^+ and K^+) in and out of it. K^+ is mainly needed inside the cells whereas outside Na^+ . $\text{Na}^+ \text{K}^+ \text{ATPase}$ help maintain this balance. When NH_3 increases in the blood it can move freely in and out of the cells. In this case, $\text{Na}^+ \text{K}^+ \text{ATPase}$ get confusion and continue to pump. The balance state of cation of the cell becomes unbalance thereby.

Unit IV

Nutrients metabolism:

1. Lipids and fatty acids (2 hrs)
2. Carbohydrates (1.5 hrs)
3. Vitamins (2 hrs)

- 1-1. Utilization, Classification and Function of Lipids
- 1-2. Classification, Properties and Structures of Fatty acids
- 1-3. Definition and Synthesis pathway of Essential Fatty Acids
- 2-1. Classification and Function of Carbohydrates
- 2-2. Properties and Structures of Carbohydrates
- 2-3. Essentiality of Carbohydrates and New Concept of Carbohydrates in Nutrition
- 3-1. Definition, Classification, Function, Deficiency Symptoms and Sources of Vitamins
- 3-2. Properties and Structures of Fat Soluble Vitamins
- 3-3. Properties and Structures of Water Soluble Vitamins
- 4-1. Classification and Function of Minerals
- 4-2. Major Minerals
- 4-3. Semi-essential Minerals

1-1.Utilization, classification and function of lipids

Digested by enzymes and emulsified (micelle formation), absorbed as fatty acids and resynthesized to triglycerides and transported in lymph as chylomicrons

Classification of lipid:

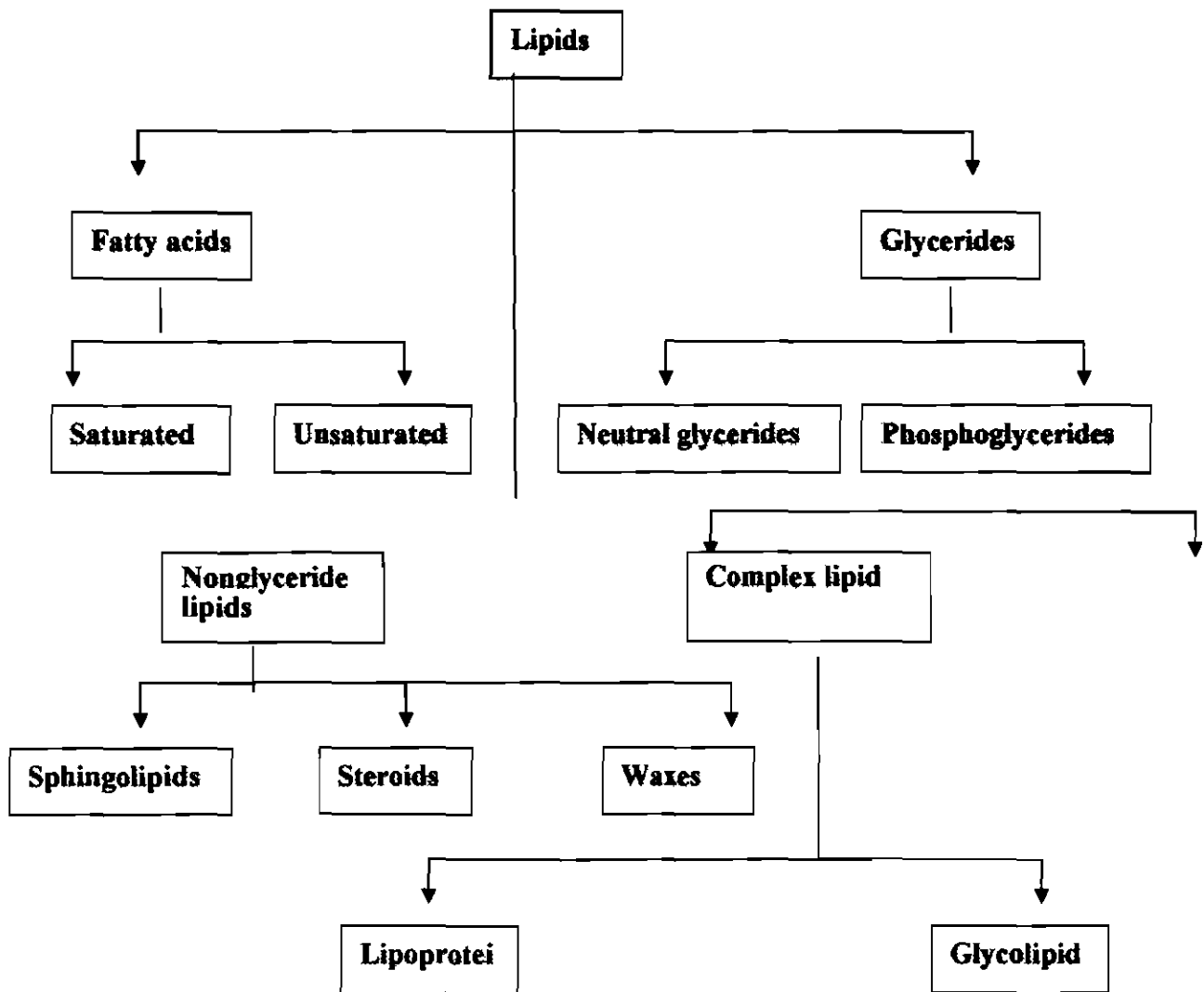
A. Simple lipids :

1. Fats-esters of FA with glycerol oil-a fat in the liquid state.
2. Waxes-FA w/higer MW monohydri-alcohols

B. Complex Lipeds

1. Phospholipids (Sphingophospholipids)
2. Glycolipids (Glycosphingolipids), FA + Sphingosine + CHO
3. Other complex lipids (Lipo protein)

C. Precursor and Derived lipids : FAs, Steroids, KBs



Functions of lipid:

Lipids serve many important functions in the animal body. Here is a brief summary of that.

- ∞ Lipids are an excellent source of energy for the body. When oxidized, 1g of fat gives 9 kilocalories of energy.
- ∞ Provide essential fatty acids
- ∞ Most of the energy stored in the body is in the form of lipids (triglycerides).
- ∞ Phospholipids are important constituent of cell membrane.

- ☞ The steroid hormones are critical chemical messengers that allow the tissues of the body to communicate with one another. The prostaglandins exert strong biological effects on both the cells that produce them and other cells of the body.
- ☞ Fat soluble vitamins (A, D, E & K) play very important roles in biological processes.
- ☞ Dietary fat serves as a carrier of the lipid-soluble vitamins.
- ☞ Lipids protect many vital organs from outer shocks.
- ☞ Subcutaneous fat serves to insulate the body from extremes of cold temperatures.

1-2. Classification, properties and structures of fatty acids

Fatty acid classification properties:

Based on number of double bond

- ☞ Saturated fatty acid
 - No double bonds
 - Solid at room temperature
 - Implicated in coronary heart disease (CHD)

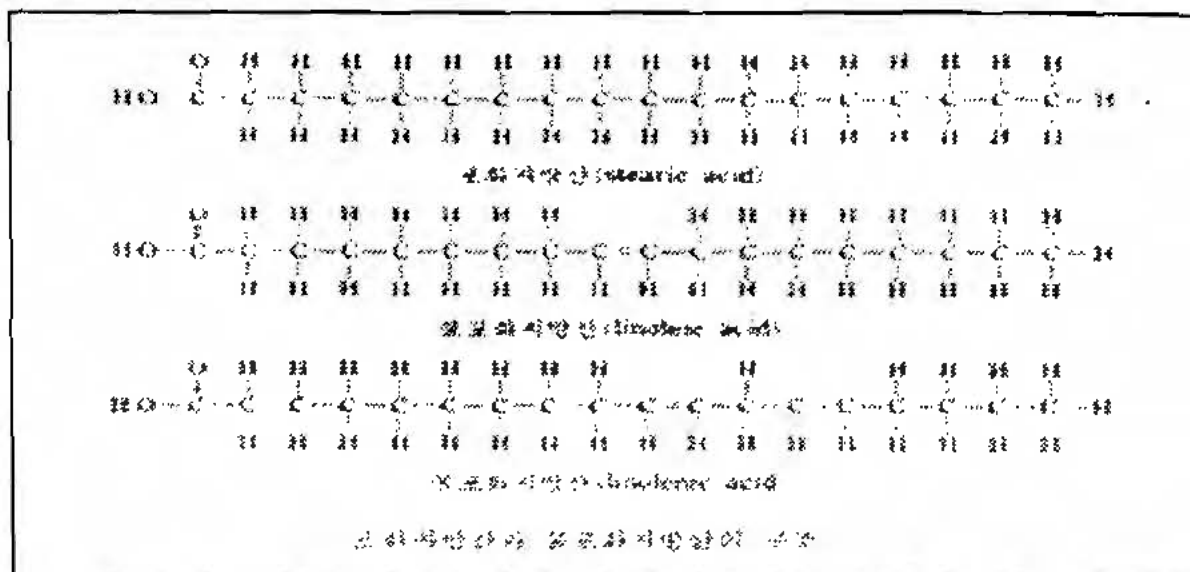
Sources: Meats, dairy, tropical

☞ Unsaturated fatty acid

- Polyunsaturated fatty acid (PUFA): 2-5 double bonds
- Highly unsaturated fatty acid (HUFA): >5 double bonds
 - Has double bonds
 - Liquid at room temperature
 - Less stable, prone to rancidity

Sources: Vegetables, legumes, fish

Structures of fatty acids:

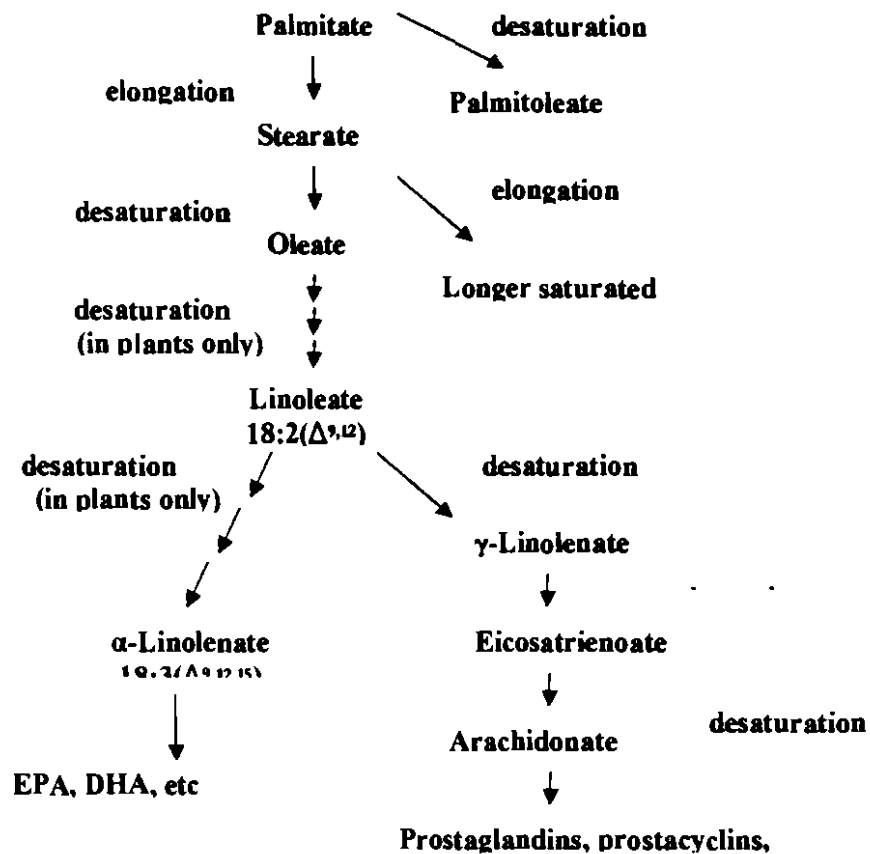


1-3. Definition and synthesis pathway of essential fatty acid

Definition essential fatty acid:

A fatty acid that can not be synthesized in the body or that can not be made in sufficient quantities for the body's needs is called essential fatty acid (EFA). For instance, linolenic acid and linoleic acid are called EFA because they must be supplied in the diet.

Synthesis pathway of essential fatty acid:



2-1. Classification and function of carbohydrates

Classification of carbohydrates:

- Monosaccharides eg. Glucose, fructose, galactose
- Disaccharides eg. Sucrose, lactose, maltose
- Oligosaccharides eg. Maltodextrins
- Polysaccharides
 - I. Starch eg. Amylose
 - II. Non-starch eg. Cellulose, pectins

Function of carbohydrates:

Carbohydrates have 6 major functions within the body:

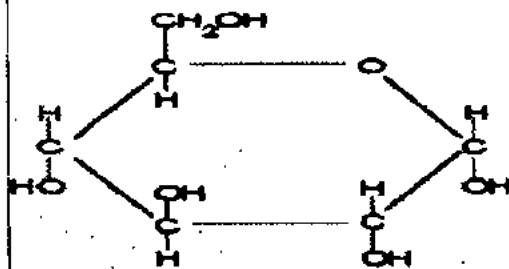
- I. Carbohydrates are a good and cheap source of energy which can spare expensive protein for growth
- II. Regulate blood glucose
- III. Carbohydrates provide dietary fiber that increases the enzyme action on nutrients resulting in good digestion.
- IV. Increase taste and palatability of diet

2-2. Properties and structures of carbohydrates (CHO)***Properties of carbohydrates:***

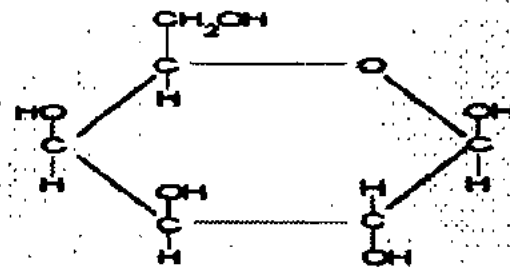
- Carbohydrates are called carbohydrates because they are essentially hydrates of carbon (i.e. they are composed of carbon and water and have a composition of $(CH_2O)_n$.
- The major nutritional role of carbohydrates is to provide energy and digestible carbohydrates provide 4 kilocalories per gram. No single carbohydrate is essential, but carbohydrates do participate in many required functions in the body.
- Central to all metabolic processes.

Structures of carbohydrates:

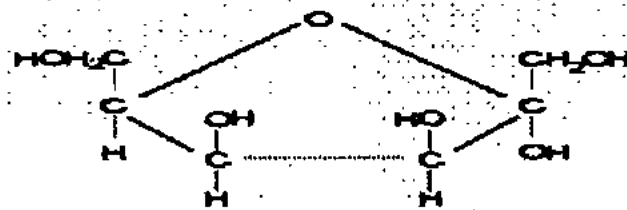
Structures of Common Monosaccharides



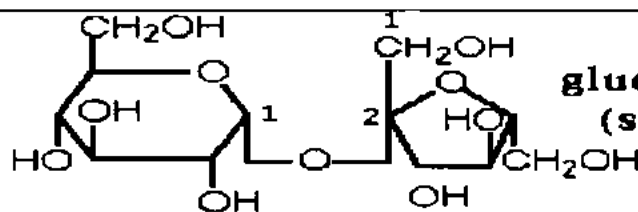
Glucose



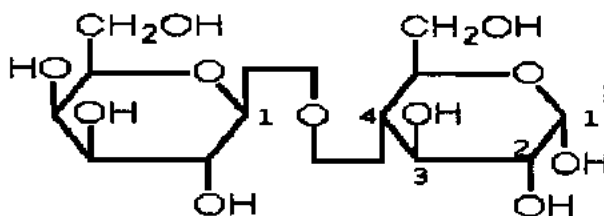
Galactose



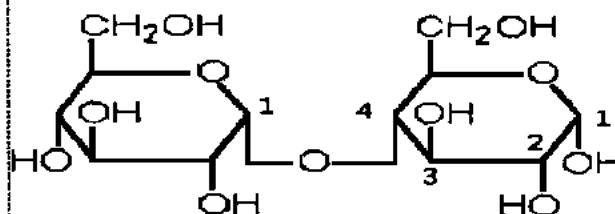
Fructose



glucose α 1-2 fructose
(sucrose)

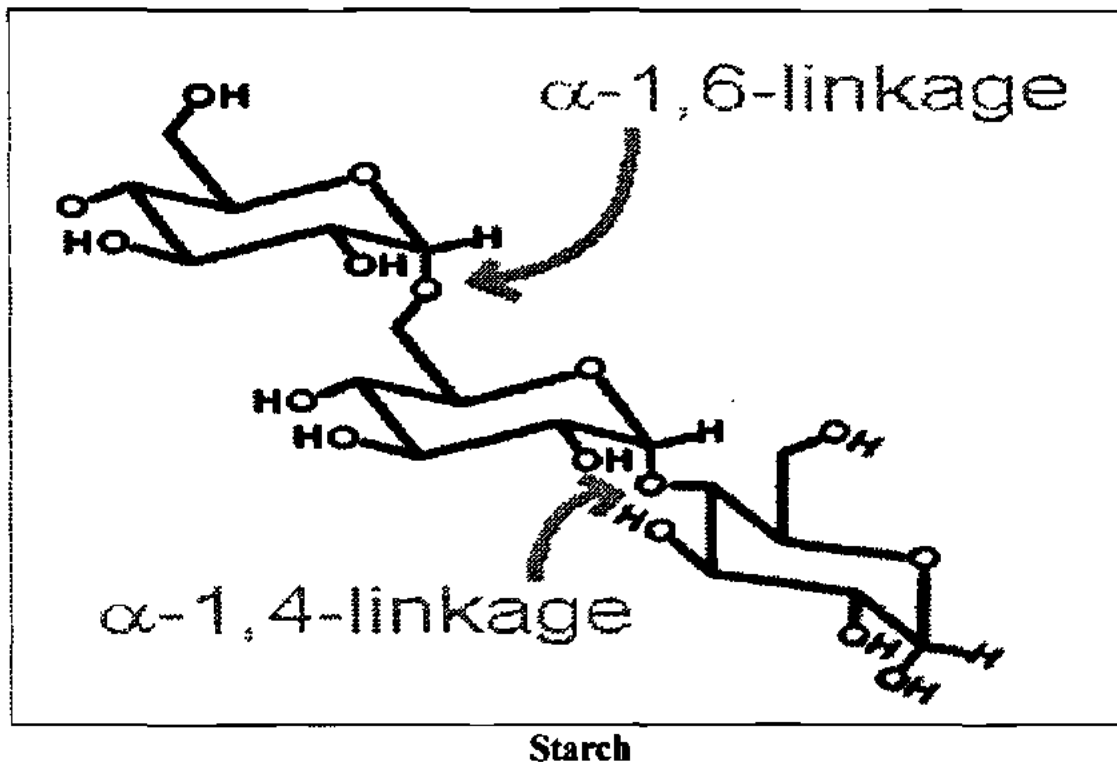


galactose β 1-4 glucose
(lactose)



glucose α 1-4 glucose
(maltose)

Disaccharides



2-3. Essentiality of CHO and new concept of CHO in nutrition

Carbohydrates are found in a wide variety of naturally occurring substances and serve as principal energy sources for the body. It is a cheap source of energy. Maximum fish cannot digest carbohydrates because of lacking of cellulase. Warm water fish can utilize carbohydrates to some extent. Therefore, carbohydrates are not essential nutrients for fish. Only a few animals like termites, cows, goats etc are able to digest cellulose. Therefore, carbohydrates are essential nutrients for those animals.

3-1. Definition, Classification and functions, deficiency symptoms and dietary sources of vitamins

Definition of vitamin: Vitamins are groups of organic substances that are required in relatively small amount in the diet of animals for normal growth, maintenance of life and normal reproduction.

Classification of vitamin: Vitamin can be categorized into two groups.

➤ **Fat-soluble vitamin (stored in the tissue)**

- I. Vitamin A
- II. Vitamin D
- III. Vitamin E
- IV. Vitamin K

➤ **Water-soluble vitamin (not stored in the tissue)**

- I. Vitamin B complex (Thiamine, Riboflavin, Panththenic Acid, Nicotinic acid, Pyridoxine, Biotin, Folic acid, Cyanocobalamine)
- II. Vitamin C (ascorbic acid)
- III. Choline
- IV. Insitol

Functions, deficiency symptoms and dietary sources of vitamins:

Vitamin	Function	Deficiency symptom	Dietary sources
FAT-SOLUBLE VITAMINS			
A (Carotene)	Synthesis of visual pigments	Night blindness and blindness in children	Egg yolk, liver, green and yellow vegetables, fruits
D (Calciferol)	Regulation of calcium metabolism	Rickets (malformation of the bones)	Milk, action of sunlight on the skin
E (Tocopherol)	Antioxidant, protection of cell membranes, reproduction	Fragile RBC, reproductive failure	Vegetable oil
K	Essential for prothrombin formation and blood clotting.	Blood-clotting disorders	Leafy vegetables, intestinal bacteria
WATER-SOLUBLE VITAMINS			
B ₁ (Thiamine)	As a coenzyme in energy metabolism, promotes appetite and growth.	Beriberi, neuritis, mental disturbance	Brain, liver, heart, whole grains
B ₂ (Riboflavin)	Promotes growth, important in carbohydrate and amino acid metabolism	Photophobia, dermatitis	Milk, eggs, liver
Niacin	Constituent of	Pellagra, dermatitis,	Whole grains, liver

	coenzymes, hydrogen transport.	digestive problems	
Pantothenic acid	Component of coenzyme A, required for energy metabolism.	Neuromotor and cardiovascular disorders	Most foods
B ₆ (Pyridoxine)	As coenzyme in protein and nitrogen metabolism, RBC formation.	Dermatitis, nervous disorders	Whole grains, liver, fish, kidney
Biotin	Component of several enzyme systems.	Scaly dermatitis, muscle pains, weakness	Egg yolk, intestinal bacteria
Folic acid	Related to B ₁₂ metabolism.	Anemia	Liver, leafy vegetables, intestinal bacteria
B ₁₂ (Cobalamin)	Coenzyme in several enzyme system.	Pernicious anemia	Liver, kidney, brain
C (Ascorbic acid)	Collagen formation, formation of intercellular substances of the teeth, bones, and soft tissues.	Scurvy, failure to form collagen	Citrus fruits, green leafy vegetables, tomatoes
Choline	Involved in nerve impulses.	Fatty livers, kidney hemorrhaging	Choline chloride
Inositol	Not known.	Spectacled-eye appearance in rats	Synthetic inositol, all feeds.

3-2. Properties and structures of fat soluble vitamins

General properties of fat soluble vitamin:

- As the name implies, this group of vitamin is fat soluble
- Fat soluble vitamins are primarily stored in the liver and adipose tissue in appreciable quantities and may cause hypervitaminosis thereby
- The fat soluble vitamin do not serve as coenzymes but rather act directly or bind to specific receptors in the cell nucleus to influence gene expression
- Vitamin E acts as antioxidant

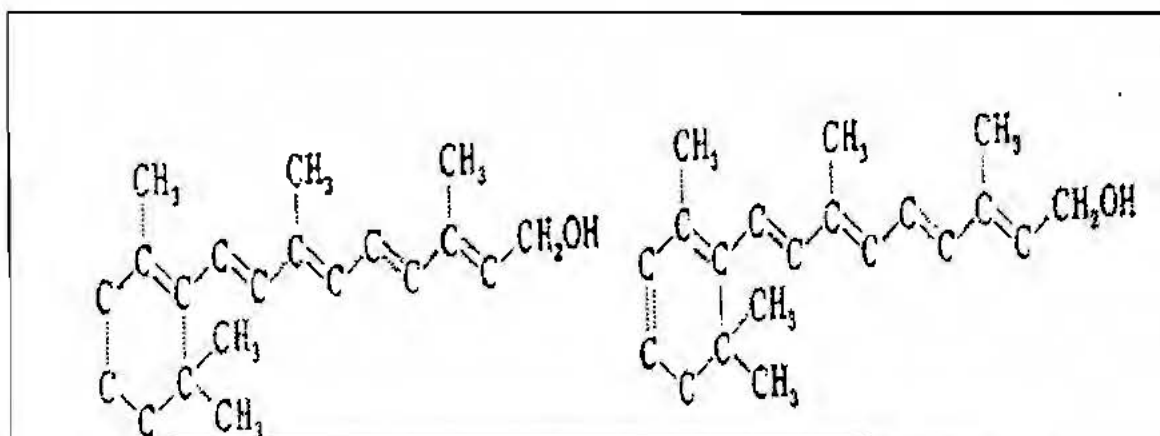
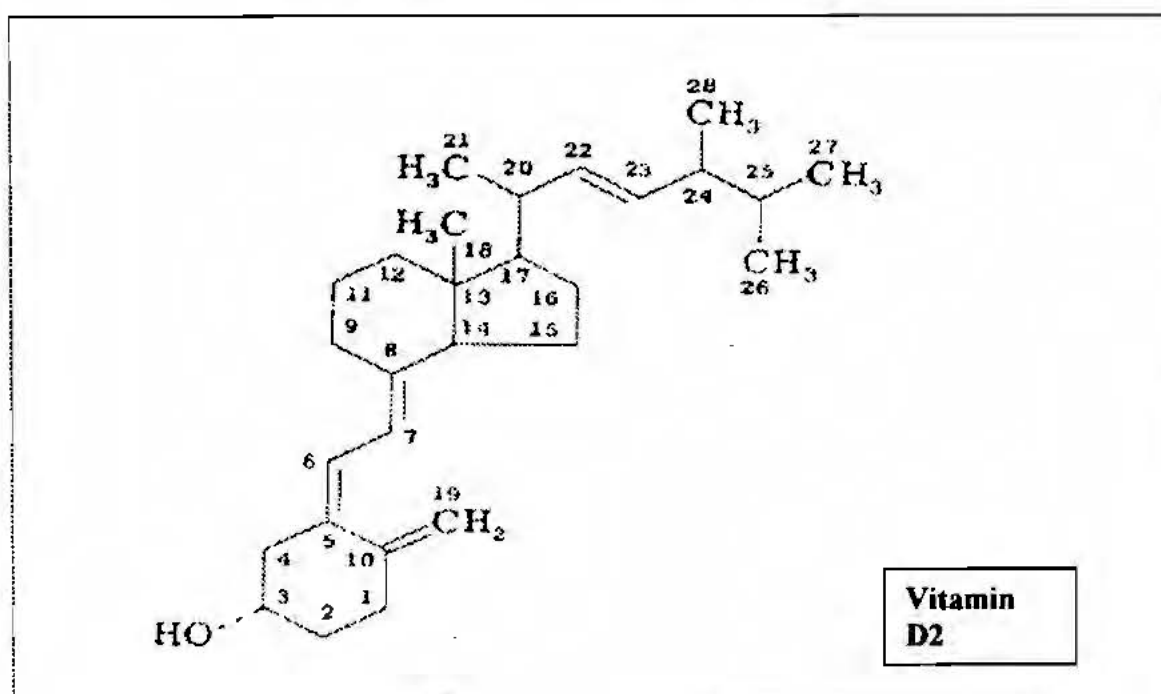
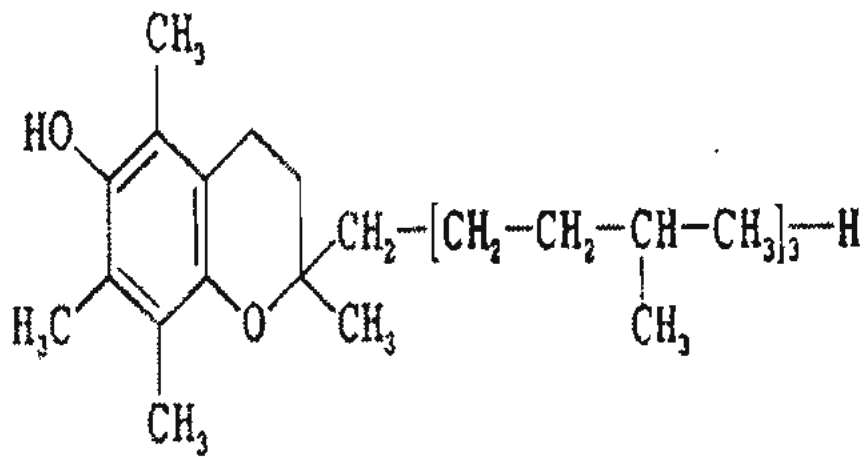
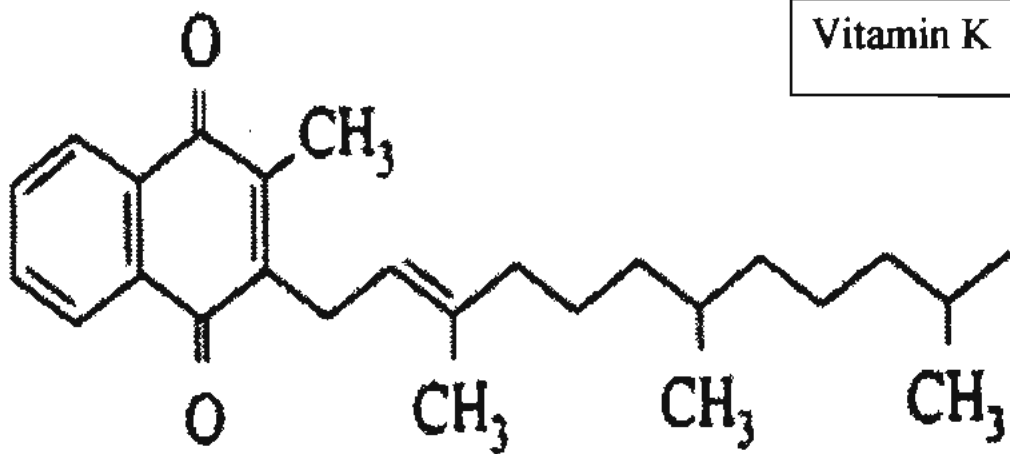


Figure: Left: all-trans-vitamin A1 (retinol), Right: all-trans-vitamin A2





α -Tocopherol, 5,7,8-Trimethyltolcol

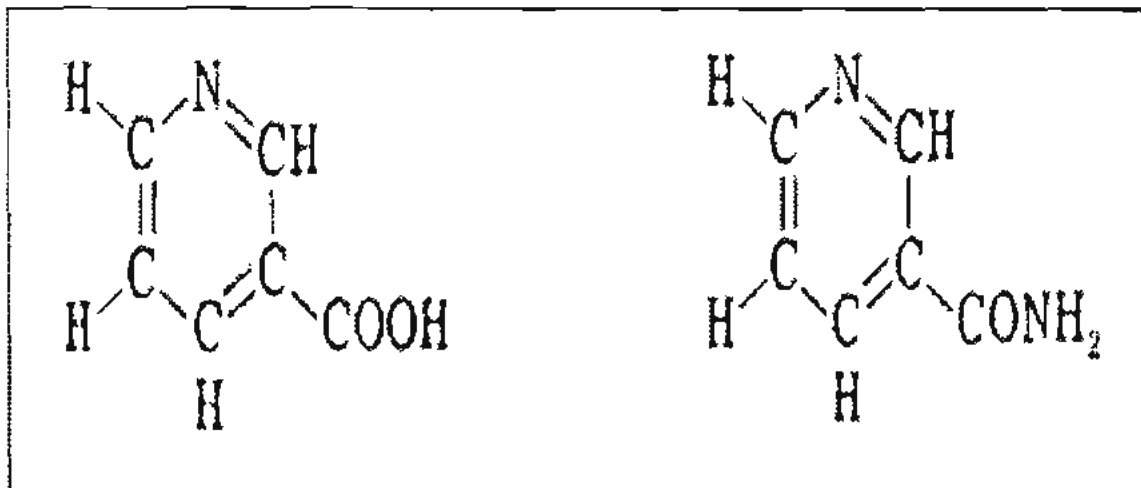


Vitamin K

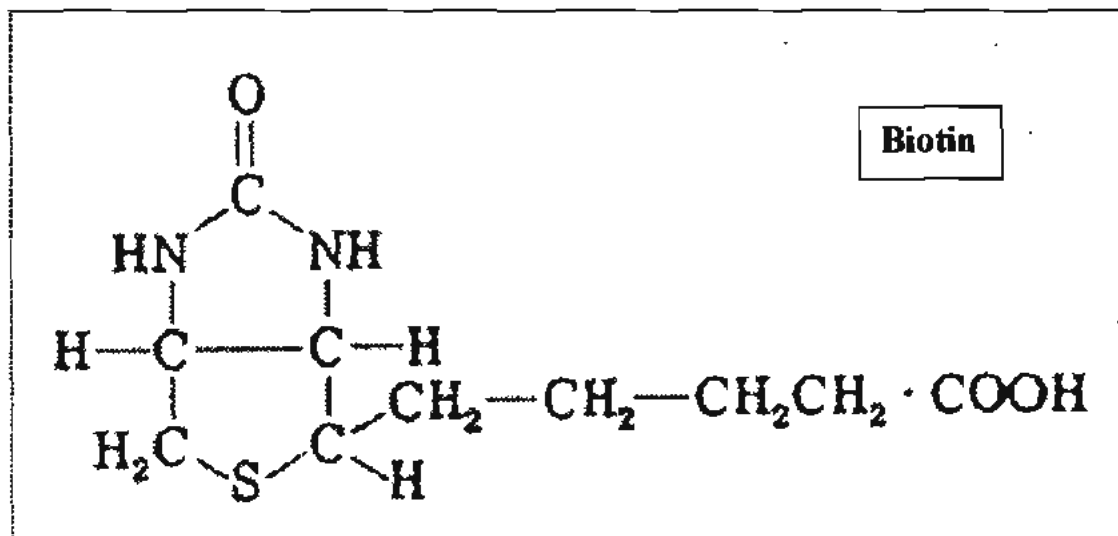
3-3. Properties and structures of water soluble vitamins

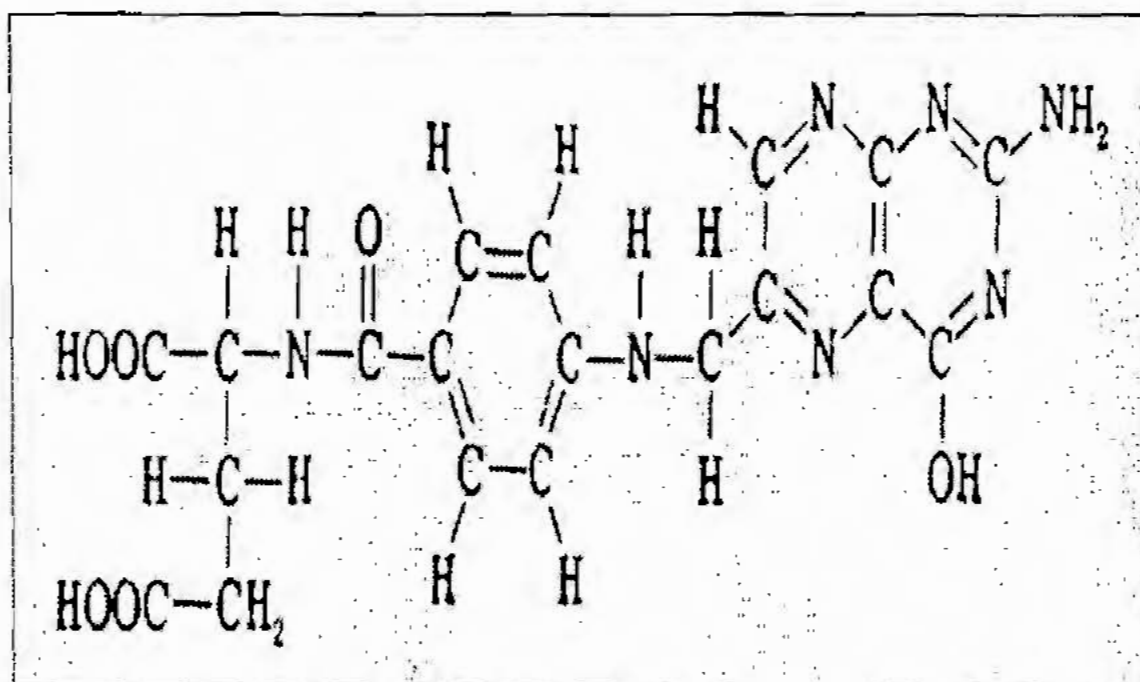
General properties of water soluble vitamin:

- Soluble in water
- Water soluble vitamin can not be stored in the body and readily flushed out through urine; hence deficiency takes place very often
- Vitamin B can be synthesized by microbial fermentation in the digestive tract, especially of ruminants herbivorous nonruminants (horse and rabbit)
- Water soluble vitamins being components of many coenzymes play an important role in a variety of biochemical reactions

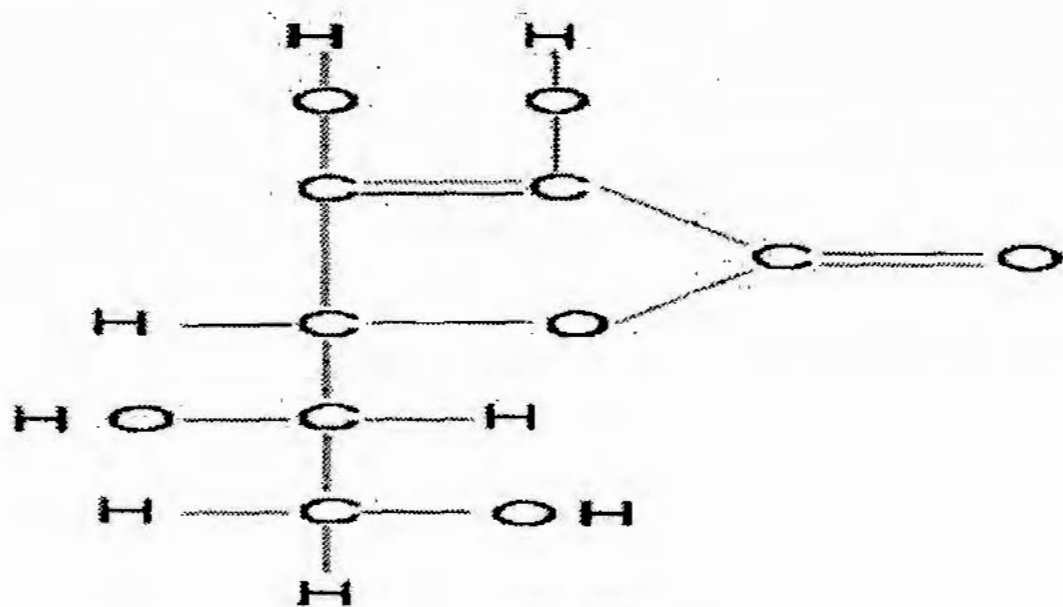


Niacin: nicotinic acid (left) and niacinamide (right)





Folic acid



Vitamin C

4-1. Definition and Function of Minerals

Definition of Minerals

All forms of aquatic animals require inorganic elements or minerals for their normal life processes. Unlike most terrestrial animals, fish have the ability to absorb some inorganic elements not only from their diets but also from their external environment in both freshwater and seawater. Calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na), potassium (K), iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu), and selenium (Se) are generally derived from the water to satisfy part of the nutritional requirements of fish, while phosphates and sulfates are more effectively obtained from feed sources. The exchange of ions from the surrounding water across the gills and skin of fish complicates the measurement of mineral requirements. Moreover, many essential elements are required in such small quantities that it is difficult to formulate diets and maintain an environment that is low in minerals to demonstrate a mineral deficiency. An Essential element is that element whose deficient intake produces an impairment of function, and the restoration of physiological levels of the element prevents or relieves the deficiency.

Function of Minerals

The main functions of inorganic elements in fish include the formation of skeletal structure, electron transfer, maintenance of colloidal systems (osmotic pressure, viscosity, diffusion) and regulation of acid-base equilibrium. Minerals are also important components of hormones and enzymes, and they activate enzymes. Calcium and phosphorus (P) are required for the formation of the skeletal structures of the body. Sodium, potassium, magnesium, calcium, chloride, phosphates and bicarbonates maintain homeostasis and the acid-base balance. Trace metals such as Fe, Mn, Cu, Co, Zn, Mo, and Se are firmly associated with specific proteins in metalloenzymes, which produce unique catalytic functions. Some minerals, such as calcium, magnesium, and manganese, function as enzyme activators. Iodine, a nonmetal, is necessary for the biosynthesis of thyroid hormones, which in turn affect development and metabolism in all vertebrates.

Currently, 29 of the 90 naturally occurring elements are known to be essential for animal life and they are categorized into macro- and micro elements depending on the quantities required in by fish.

4-2. Major Minerals

Macro elements: These elements are required by the fish in relatively large quantities (grams per kilogram diet). They include Na, K, Ca, P, Mg, Cl and S.

Micro elements: Unlike the macro elements, the micro elements, also called the trace elements, are needed in small quantities (milligrams or micrograms per kilogram diet). Although these elements are needed in small amounts, they are still important in the normal life processes of fish and inadequate intake of the minerals leads to the development of deficiency symptoms. They include Fe, Mn, Cu, Co, Zn, Mo, I, and Se.

Calcium and Phosphorus: Calcium and phosphorus are involved in the development and maintenance of the skeletal system and participate in several physiological processes. Fish scales are an important site of calcium metabolism and deposition. Besides its structural functions, calcium plays an important role in muscle contraction, blood clot formation, nerve impulse transmission, the maintenance of cell integrity and acid-base equilibrium, and activation of several important enzymes.

Phosphorus is an important constituent of nucleic acids and cell membranes, and is directly involved in all energy-producing cellular reactions. Phosphorus also functions in carbohydrate, lipid, and amino acid metabolism, as well as in various metabolic processes involving buffers in body fluids.

Dietary requirements: The calcium requirement of fish is met largely by absorption through gills and skin in freshwater and by drinking seawater. The calcium requirement is affected by the water chemistry, the phosphorus level in the diet, and species differences. Channel catfish and salmonids require 0.45 and 0.34% calcium, respectively in their diets.

Feed is the main source of phosphate for fish because the concentration of phosphate is low in natural waters. The dietary supply of phosphate is more critical than that of calcium because fish must effectively absorb, store, mobilize, and conserve phosphate in both freshwater and seawater environments. Dietary phosphorus requirements of 0.45 and 0.60 % have been reported for channel catfish and salmonids.

Deficiency symptoms: Calcium deficiency has not been detected in carp and catfish in freshwater. The feed ingredient of natural ingredient diets supplies sufficient calcium to meet the requirements of most finfish. Deficiency signs reported in certain finfish include reduced growth, poor feed conversion, anorexia, and reduced bone mineralization.

The main phosphorus deficiency signs in most fish include poor growth, anorexia, poor feed conversion, reduced bone mineralization, skeletal deformity, cranial deformity, curved and enlarged spongy vertebrae and increased visceral fat.

Magnesium: Magnesium is a major intracellular cation that is a necessary cofactor for enzymatic reactions vital to every major metabolic pathway. Magnesium is a cofactor of many enzymes in the body including those involved in cellular respiration and transfer of phosphate between adenosine triphosphate (ATP), adenosine diphosphate (ADP), and adenosine monophosphate (AMP). These enzymes are phosphokinases, thiokinases, phosphatases, pyrophosphatases, and amino acyl synthetases. Extracellular magnesium is vital to normal nerve conduction, muscle function, and bone mineral formation. Magnesium plays an important role in the respiratory adaptation of freshwater fish.

Dietary requirements: The magnesium requirement of fish can be met either from the diet or water. In the marine environment, magnesium supplementation of diet may not be necessary. The magnesium requirements of channel catfish and salmonids are 0.04 and 0.05%, respectively.

Deficiency symptoms: Magnesium deficiency causes reduced growth, anorexia, sluggishness, nephrocalcinosis, convulsions, cataracts, degeneration of muscle fibers and epithelial cells of pyloric cecum and gill filaments, skeletal deformity, reduced bone mineralization, reduced bone, body and serum Mg concentration, and mortality.

Sodium, Potassium and Chlorine: Sodium, potassium and chlorine are the most abundant electrolytes in the body. Sodium and chlorine are the principal cation and anion, respectively, in the extracellular fluid of the body; whereas, potassium is the major monovalent intracellular cation. Chloride ion is the major anion of gastric juice and blood.

Dietary requirements: The abundance of these elements in common feedstuffs used in fish diets means they need not be supplemented in most natural ingredient diets. However, supplementation of these elements has been found necessary in chemically defined diets for certain species.

Deficiency symptoms: Deficiency signs of these elements are difficult to produce because fish readily absorb these elements from the surrounding aquatic medium. Signs of potassium deficiency include anorexia, convulsion, tetany and mortality.

Iron: Iron is an essential element in the cellular respiratory process through its oxidation-reduction activity and electron transfer. It is found in the body mainly as heme compounds (hemoglobin and myoglobin), heme enzymes (cytochromes, catalase, peroxidase, etc), and nonheme compounds (transferring, and iron-containing flavoproteins [ferredoxins, dehydrogenases]).

Dietary Requirements: Feed is the major source of iron for fish because natural waters usually contain low amounts of soluble iron. The iron requirements have been reported for channel catfish and salmonids as 30 and 60 mg/kg, respectively.

Deficiency and toxicity symptoms: Deficiency of iron causes reduced growth and poor feed conversion, hypochromic microcytic anemia, low hematocrit and hemoglobin levels, and reduced plasma Fe and Fe transferrin saturation. The major effects of iron toxicity include reduced growth, increased mortality, diarrhea, and histopathological damage to liver cells.

Copper: Copper is a constituent of many enzymes and is essential for their activities. It is associated with cytochrome *c* oxidase of the electron transport chain in the cell. Other cuproenzymes found in fish tissues include superoxide dismutase, tyrosinase, lysyl oxidase, ceruloplasmin, and dopamine β -hydroxylase.

Dietary requirements: The dietary requirements for copper in selected fish have been reported. Channel catfish requires 5mg/kg and salmonids require 4mg/kg.

Deficiency and toxicity symptoms: Deficiency signs in certain finfish include reduced growth, cataracts, reduced liver Cu/Zn-superoxide dismutase and heart cytochrome *c* oxidase activity. Fish appear to be more tolerant of copper in the diet than of dissolved copper in the water. Concentrations of 0.8 to 1.0 mg/kg copper per liter as copper sulfate in water are toxic to many species of fish. Toxicity signs include reduced growth and feed efficiency and elevated liver copper levels.

Zinc: Zinc is an integral part of a number of metalloenzymes, including dehydrogenases, aldolases, peptidases, and phosphatases.

Dietary Requirements: Fish accumulate zinc from both water and dietary sources; however, dietary zinc is more efficiently absorbed than water borne zinc. The zinc requirements of channel catfish and salmonids are 20 or 150 mg/kg and 15-30 mg/kg, respectively.

Deficiency and toxicity symptoms: Deficiency of zinc leads to reduced growth, anorexia, short-body dwarfism, cataracts, fin erosion, skin erosion, reduced body zinc, bone zinc, and bone calcium concentrations, low serum zinc level, and mortality. A zinc concentration of 1,000 mg/kg diet resulted in reduced hemoglobin, hematocrit, and hepatic copper concentrations in rainbow trout.

Manganese: Manganese functions either as a cofactor that activates metal-enzyme complexes or as an integral part of certain metalloenzymes in carbohydrate, lipid, and protein metabolism. Many kinases, transferases, hydrolases, and decarboxylases can be activated by either manganese or other divalent cations, such as magnesium, and their activity is not specific for manganese. However, enzymes such as glycosyl transferase are highly specific for manganese activation. Two important manganese metalloenzymes are pyruvate carboxylase and superoxide dismutase.

Dietary requirements: Although the uptake of manganese from water has been demonstrated, it is more efficiently absorbed from feed. The manganese requirements of channel catfish and salmonids are 2.40 and 16 mg/kg, respectively.

Deficiency Symptoms: Reduced growth, loss of equilibrium, short-body dwarfism, cataracts, high mortality, reduced bone and body manganese concentration, poor hatchability of eggs, and abnormal tail growth.

Selenium: Selenium is an integral part of the enzyme glutathione peroxidase. Glutathione peroxidase destroys hydrogen peroxide and fatty acyl hydroperoxides in water and fatty acyl alcohols, respectively, by using reducing equivalents from glutathione, thereby protecting cells and membranes against oxidative damage. The exact physiological role of this enzyme is not clear because catalase and non-Se-dependent glutathione peroxidase also remove hydroperoxides. Selenium (and selenium compounds) also protects cells against the toxicity of heavy metals such as cadmium and mercury.

Dietary requirements: The selenium requirement of fish varies with the form of selenium ingested, polyunsaturated fatty acid and vitamin E content of the diet, and concentration of waterborne selenium. The selenium requirement determined on the basis of optimum growth and maximum plasma glutathione peroxidase activity was estimated to be 0.25 mg/kg for channel catfish and 0.15-0.38 mg/kg for salmonids.

Deficiency symptoms: Reduced growth, anemia, cataracts, muscular dystrophy, exudative diathesis, and reduced glutathione peroxidase activity.

Iodine: Iodine is essential for the biosynthesis of the thyroid hormones, thyroxine and triiodothyronine.

Dietary requirements: Fish obtain iodine from water and from feed sources. The minimum iodine requirement of most fish species has not been established.

Deficiency symptoms: Iodine deficiency causes thyroid hyperplasia.

Mineral requirements in channel catfish and salmonids

Mineral	Dietary requirement	
	Channel catfish	Salmonids
Calcium	0.45 %	0.34 %
Phosphorus	0.45 %	0.60 %
Magnesium	0.04 %	0.05%
Zinc	20 or 150 mg/kg	15-30 mg/kg
Selenium	0.25 mg/kg	0.15-0.38 mg/kg
Manganese	2.40 mg/kg	16 mg/kg
Copper	5 mg/kg	4 mg/kg
Iron	30 mg/kg	60 mg/kg

Unit V

Feeds, Feed stuffs and Feed formulation practice:

1. Feeds and Feed stuffs
2. Feed formulation practice

- 1-1. Classification of Feeds (FAO)
- 1-2. International Feed Number(My Book and FAO)
- 1-3. Quality Control requirements for Fish meal and Fish oil (My Book and FAO)
- 2-1. Basic concepts of computer feed formulation
- 2-2. Feed formulation practice I with 2-4 feeds stuffs for flounder(tables)
- 2-3. Feed formulation practice II
- 2-4. Feed Formulation practice III

FEEDS AND FEED STUFFS

Semi-intensive and intensive aquaculture practices differ from extensive practices in that an external feed input is required for the well-being of the stock. The feed input constitutes one of the major recurring costs of the operation, its share often increasing in proportion to the increasing intensity of the culture operation. Consequently, it is essential that the principles underlying diet preparation are well understood.

Adequate nutrition is one of the most important factors influencing the ability of cultured organisms to attain the genetic potential for growth, reproduction and longevity. The nutrient requirements vary between species and within species between the different stages of its life-cycle. The main objective and/or aim of diet formulation and preparation is to utilize the knowledge of nutrient requirements, locally available feed ingredients and digestive capacity of the organism for the development of a nutritionally balanced mixture of feedstuffs which will be eaten in adequate amounts to provide optimum production of the cultured organism at an acceptable cost. In practice however, besides nutritional value, cost and availability of ingredients, other considerations have to be taken into account in diet preparation. Such considerations include pelletability of the resulting diet, anti-nutritional factors in the ingredients, and diet acceptability or palatability.

Diet formulation involves the selection and blending of appropriate feed ingredients to produce a diet with the required quantities of essential nutrients. No single ingredient can be expected to meet all the nutrient requirements of a cultured organism. By selecting various ingredients in the correct amounts, a compounded ration which is nutritionally balanced, pelletable, palatable and easy to store and use may be formulated.

Basic information required for feed formulation includes:

- The nutrient requirements of the cultured species
- The feeding habitats of the species
- Local availability, cost and nutrient composition of ingredients
- Ability of the cultured species to utilize nutrients from various ingredients as well as the prepared diet

- The anticipated feed consumption
- Feed additives needed
- Type of feed processing to be employed

DEFINITIONS

- **Additive:** An ingredient or combination of ingredients, other than a premix, added to the basic feed mix or parts thereof to fulfill a specific need. Usually used in micro-quantities and requires careful handling and mixing.
- **Complete Feed:** A nutritionally adequate feed for animals other than man: by specific formula is compounded to be fed as the sole ration and is capable of maintaining life and/or promoting production without any additional substances being consumed except water.
- **Compound Feed:** A mixture of products of vegetable or animal origin in their natural state, fresh or preserved, or products derived from the industrial processing thereof, or organic or inorganic substances, whether or not containing additives, for oral feeding in the form of a complete feed.
- **Concentrate:** A feed used with another to improve the nutritive balance of the total and intended to be further diluted and mixed to produce a supplement or a complete feed.
- **Feed (Feedstuff):** Any substance, whether processed, semi-processed or raw, which is intended for animal consumption.
- **Food:** Any substance, whether processed, semi-processed or raw which is intended for human consumption, including drinks, chewing gum and any substance which has been used in the manufacture, preparation or treatment of 'food' but excluding cosmetics, tobacco and substances used only as drugs.
- **Formula Feed:** Two or more ingredients proportioned, mixed and processed according to specifications.
- **Hazard:** A biological, chemical or physical agent in, or a property of, feed which may have an adverse effect.
- **HACCP:** Hazard analysis critical control point.
- **Ingredient:** A component part or constituent of any combination or mixture making up a (commercial) feed.
- **Medicated feed:** Any feed which contains drug ingredients intended for the treatment or prevention of disease of animals other than man. [N.B. Antibiotics used as growth promoters are considered to be 'feed additives'.
- **Premix:** A uniform mix of one or more micro-ingredients with a diluent and/or carrier. Premixes are used to facilitate uniform dispersion of micro-ingredients in a larger mix or a mixture of additives, or a mixture of one or more additives with substances used as carriers, intended for the manufacture of feed.

- **Straight Feedstuff or Straights:** A vegetable or animal product in its natural state, fresh or preserved, and any product derived from the industrial processing thereof, and single organic or inorganic substance, whether or not it contains any additive, intended as such for feeding.
- **Supplement:** A feed used with another to improve the nutritive balance or performance of the total and intended to be: (i) fed undiluted as a supplement to other feeds; (ii) offered free choice with other parts of the ration separately available; or (iii) further diluted and mixed to produce a complete feed.

FEED INGREDIENTS

Fish feed ingredients are mainly by-products of food processing obtained when high-value food for humans is extracted from a raw material. After extraction of the main products, the by-products are further processed, usually by drying. Some feed ingredients, however, are produced directly from raw materials. A wide variety of ingredients are available for use in fish feeds. These include protein supplements, energy sources, vitamin premixes, mineral premixes, and non-nutritive feed additives.

Feed Nomenclature: The international Feed Vocabulary (IFV) is a system of naming feed ingredients so as to avoid confusion. Through this system, a comprehensive name and number has been assigned to each ingredient using descriptions from one or more of six categories. The categories are

- Origin, including the scientific and common names for specific plants and animals, poultry, fish, cereals, grass, minerals, chemical products, and drugs or other names for nonspecific materials.
- Part fed to animal as affected by processing
- Process(es) and treatment(s) to which the feed ingredient was subjected
- Stages of maturity and development
- Cutting (for forage crops)
- Grade

Using this system, herring meal is described as fish, herring, *Clupea harengus*, meal, mechanically extracted, International Feed Number 5-02-000.

Protein Supplements: Protein supplements are feed ingredients having protein content above 20%. These include:

Animal by-products: These are derived from the meat-packing, poultry processing, and rendering industries. The protein content of these products ranges from 50 to 85%. These meals are good sources of lysine but poor sources of methionine and cystine, which are usually found to be limiting in diet formulations. Animal by-products include meat meal and meat and bone meal, blood meal, feather meal, poultry by-product meal, milk by-products and gelatin.

Fish products and by-products: Fishmeal is the most suitable animal product for incorporation into fish diets. The major fish meals include anchovy, capelin, menhaden, sand eel, herring, whitefish, and salmon. They may be made of whole fish, as is the case with anchovy, capelin, or menhaden, or from processing residue, as is the case with

whiting, pollock, herring, and salmon. Fish meal contains high levels of essential amino acids. The fat content ranges from 4 to 20%, and the ash content is highly variable, ranging from about 11 – 12% in anchovy meal to over 23% in whitefish meals made from filleting wastes. Other by-products include shrimp and crab by-products, fish silage and fish hydrolyzate.

Plant protein sources: Oilseed meals are the most important protein supplements of plant origin. They are produced from the cake remaining after oil has been extracted from oilseeds such as soybeans, cottonseed, canola, peanuts, sunflower seeds and coconuts. Oils may be mechanically expelled or extracted by solvents. They may be decorticated (when the coating is removed before extraction), dehulled (without hull) or undecorticated (hull and coat intact). Some intermediary products between decorticated and undecorticated exist. The composition of oilseed meals varies not only between species of plant but also according to the processing methods employed. Dehulled soybean meal contains 48% while defatted soybean meal contains 44% protein; cottonseed meal has a protein content of 48%; corn and wheat gluten meals contain more than 60% protein while brewer's dried yeast contains 27% protein.

Other protein sources: Another category of protein supplements is sometimes referred to as unconventional feedstuffs. They include single-cell proteins derived from yeast or bacteria grown on waste materials such as paper mill sludge, sewage, crop processing wastes, and methane. The dried products could contain up to 60 – 70% protein. Other unconventional feedstuffs include krill and dried insect meal.

Energy Sources: Basal feeds, or energy feeds, are low-protein, high-energy feed ingredients. The upper limit for protein content of basal feeds is 20%, although most are in the 10 – 17% range. They include fats and oils as well as carbohydrates, although the availability of carbohydrates to fish varies from species to species.

Vitamin Premixes: These are concentrates in which stable forms of essential vitamins are mixed with a carrier, usually a basal feed such as a wheat by-product.

Mineral Premixes: Mineral premixes are concentrates of essential elements that are fortified in practical fish diets to make up for low levels in the formulation or to overcome antagonistic interactions among feed ingredients.

Nonnutritive Feed Additives: These include pellet binders, carotenoid supplements, therapeutants and nonspecific immune stimulants, probiotics, enzyme supplements, hormones, antimicrobial agents, antioxidants, fiber, water, flavorings and palatability enhancers.

FORMS OF FEEDS

Aquafeeds can exist in different forms. However, they are generally classified into three groups based on their moisture contents. These include:

Wet Feeds: Generally, wet feeds are those made from wet ingredients such as trash fish, slaughterhouse waste, undried forage, etc., and contain 50–75% moisture.

Semi-moist Feeds: Semi-moist feeds are made from mixtures of wet and dry raw materials, or from dry ingredients to which water is added. The moisture content of these feeds ranges from about 20 to 30%.

Dry Feeds: Dry feeds are generally made from dry ingredients or from mixtures of dry and moist ingredients. However, even though it may be implied by the name, these feeds are not entirely devoid of moisture, generally containing 7–13% water, depending on the environmental conditions.

TYPES OF FEEDS

Feeds could be formulated based upon the life stage of an animal. Feed formulations can be categorized by the intended function or phase of production in which the feed will be used. Specific feeds can be formulated to increase survival, growth, fish health (nonspecific immunostimulation), fish quality, and body composition or to minimize the amount of nutrients in hatchery or farm effluents (pollution reduction). The main types of feeds according to the intended use are:

First Feed for Fry and Larvae: These include starter feeds (larger than 400µm in diameter) and larval feeds (less than 400µm in diameter).

Fry Feeds: Fry feeds are fed to fry or larvae that are actively feeding and have reached a weight of 0.50-0.75 g.

Conversion and Transition Feeds: Conversion feeds are offered when fish are converting from live food to formulated feed while transition feeds are fed when fish have been fed highly palatable starter feed, but are ready to move to a lower palatability fingerling or grower feed.

Fingerling Feeds: These are feeds for fish weighing 10-100 g. Semimoist pellet sizes of 1.2-2.4 mm cover this range. Dry, compressed feeds are fed as crumbles to fish at the lower end of their weight range and as 2.4-3.00 mm pellets to larger fish.

Grower Feeds: Grower feeds are formulated to promote efficient and economic growth of fish from the fingerling stage up to market size. Formulations for these fish contain less protein and more energy than fingerling formulations. The energy content and protein to energy (P/E) ratio is carefully formulated to ensure that protein retention is high. The majority of feed fed during a production cycle, often more than 90%, is fed during the grower stage and any savings in cost of feed at this phase is of a great significance in minimizing total costs of production.

Broodstock Feeds: Broodstock requires higher nutrients than growers for gonadal development. Protein, essential fatty acids, vitamins and minerals are required in relatively higher quantities at this stage for good fecundity, egg quality and larval performance.

Low-Pollution Feeds: These are produced with the aim of minimizing pollution caused by effluents. Feeds are formulated to contain optimum energy with ingredients of high digestibility for nutrients such as phosphorus.

Product Quality Feeds: Product quality feeds are those that are fed to fish to increase the quality of the product in the market. Formulation adjustments are made to enhance quality attributes such as color, lipid content, fatty acid composition, percentage dress-out, shelf-life, flavor and texture of fish.

FEED FORMULATION TECHNIQUES

Best-Buy Ingredients: Besides other considerations, feed ingredients should be selected in a formulation on the basis of value. If several fish meals are available and suitable for use in a formulation, and the fish meals are equal in protein content and protein availability, then the least expensive one is chosen. However, if the meals differ in protein content or protein availability and price, calculations are required to determine which has the best value.

Simultaneous Equations for Solving Least-Cost Analysis: Once the ingredients are chosen, simultaneous equations can be used to solve simple feed formulations. The process of formulating a fish feed is divided into several steps. The first step is to define the nutrient levels desired in the feed. The second step is to choose ingredients and to list the protein and digestible energy content of each. The third step is to list the ingredients which will be in the feed formulation at fixed levels and to calculate the contribution of each ingredient to the total desired levels of protein and digestible energy in the feed. These values are then added, and the totals subtracted from the desired levels in the finished feed.

Linear Programming: Least-cost formulations can be calculated using computers. The process by which this is done is called linear programming. This involves the simultaneous solution of a series of linear equations. Linear programming is used to calculate the combination and levels of ingredients that provide the desired nutrient content of the diet at the least cost. To do this, the following information must be provided to the computer:

- Nutrient content and digestible or metabolizable energy of ingredients.
- Nutrient requirement of the species for which the feed is intended.
- Unit price of feedstuffs including vitamin and mineral mixtures.
- Any other additives to be used in the feed.
- Minimum and maximum restrictions on the amounts of each ingredient in the feed.

FEED MANUFACTURING

The basic steps in diet manufacture are grinding, mixing, conditioning, pelleting, cooling (or freezing), top-dressing, sacking, storing, and shipping. Ingredients arrive at feed mills either in sacks or in bulk, and in both dry and liquid forms. Ingredients should be examined for condition on arrival, and samples taken for analysis and dated. Drugs and medications must be segregated. Ingredients must be stored to protect against

contamination, moisture, and pest damage. Each ingredient should be used in the order of batch delivery to prevent deterioration associated with long storage.

Grinding: Many ingredients arrive at the feed mills in a coarse form and need to be ground before being used. When ingredient particle size is not uniform and sufficiently small, mixing inefficiencies and blockage of dies may occur during pelleting. Grinding increases the surface area of ingredient particles, thus facilitating mixing and pelleting. Various kinds of grinders reduce particle size by impact (hammer mills, pulverizers, and attrition mills), cutting (rotary cutters, roller mills, and attrition mills), and crushing (roller mills). Different types of particle size reduction equipment vary considerably in initial cost and in operating cost, but the primary factor affecting the choice of equipment should be the range of ingredients that the equipment will be required to grind.

Mixing: Mixing of ingredients is a critical operation in diet manufacture. Inadequate or excessive mixing leads to particle segregation, resulting in a nonhomogeneous blend. Microingredients (vitamins, minerals, drugs and carotenoid pigments) are premixed separately with a diluent, such as wheat flour, before being mixed with other dietary ingredients. The mixing procedure should result in a blend from which all of the pellets contain the same proportion of ingredients as the formulation. Ingredients are generally added to the mixer in a predetermined sequence to ensure adequate mixing. Dry ingredients are first combined, with dry premixes added in the middle of the sequence. After sufficient mixing of dry ingredients, liquid ingredients are added and mixing continues. It is important to know the proper amount of time for mixing with each type of mixer and type of feed blend. Mixing can be done with a batch or continuous mixer. Types of mixers include horizontal ribbon mixers, vertical mixers, Nanta mixers, and turbine mixers. For laboratory use, dough mixers are appropriate.

Conditioning and Expansion: Conditioning is the process of preparing a feed mixture for pelleting and includes thermal and physical processing. Thermal processing is generally accomplished by the addition of steam in a conditioning chamber. The chamber may be pressurized or it may be open to the atmosphere. Conditioning chambers contain agitators that mix and work the feed mixture as steam is added. Besides ensuring that added moisture is thoroughly mixed with the feed mixture, agitators activate some ingredients, such as wheat gluten.

Expansion is a conditioning step that occurs after mixing but before compression pelleting. The process involves steam injection and mixing in a preconditioning chamber, followed by pressure (shear) being applied along a barrel. The mixture is then forced through a narrow gap created by the presence of a cone in a tapered outlet of a chamber. Heat from steam, pressure (shear), and frictional energy generated as the feed mixture squeezes through the gap causes starch gelatinization. As the pressure is lost when the mixture exits the gap, moisture is lost. The mixture is then conveyed through a steam (compression) pelleting system, and the resulting pellets are identical to steam pellets, except for the degree of gelatinization, which also affects the pellet density and the amount of oil that can be top-dressed. Pellets made by this process can be top-dressed to achieve up to 22% total fat.

Pelleting: Pelleting is aimed at converting the homogeneous blend of ingredients into durable particles having physical characteristics that make them suitable for feeding. There are many ways to produce feed pellets. Each feed manufacturer has developed particular methods to increase the quality or decrease the cost of their feed. These include the following:

Compressed pelleting: Compressed pelleting, also known as steam pelleting, is a process which forces a feed mixture, which has been exposed to dry steam for about 5-25 seconds to increase the temperature to about 85 °C and the moisture to about 16%, through holes in a metal die by the action of a roller located inside the die. The combination of heat, moisture, and pressure forms the mixture into a compressed pellet (bulk density, 0.5-0.6 g/cm³) in which gelatinization of the starch occurs. As the pellets emerge from the outside surface of the die, they are cut off by a stationary, adjustable knife to the desired length.

Pellet quality is influenced by several factors, including fat level, moisture, and humidity. The fat level of the mixture should be no lower than 2-3% to lubricate the holes in the die and to reduce dustiness and no higher than 8-10% to avoid excessive die lubrication causing insufficient compression of the feed mixture. The moisture level also affects the quality of the pellets, as insufficient moisture results in production of dry and crumbly pellets while excessive moisture leads to the production of soft pellets due to insufficient compression.

Extruded Dry Pelleting: Extruded pellets are made in the same general way as compressed pellets, but the use of different dies and physical conditions results in a very different product. This process is more versatile than compression pelleting, thereby allowing for the control of pellet density, which affects buoyancy in water, and for the addition of very high lipid levels. However, this process is more expensive than steam pelleting. In this process the temperature of the feed mixture is increased to 125-150 °C in a pressurized conditioning chamber and the moisture content is increased to 20-24%. The density of the pellets is typically 0.25-0.3 g/cm³.

UPC pelleting: The universal pellet cooker combines some aspects of compressed pelleting and cooking extrusion. The pelleting equipment resembles cooking-extrusion equipment. Less steam and water are added during preconditioning than in cooking extrusion, resulting in a feed mixture with 16-18% moisture. Pellets of bulk density ranging from 400 to 600 g/liter can be produced using this system.

Cold pellet extrusion: This process is employed in manufacture of semimoist pellets. By varying the moisture content and by carefully selecting ingredients with binding activity, a stable, durable moist pellet can be produced. In contrast to other methods of pellet formation, no thermal activity is involved in cold extrusion.

Cooling and drying: Immediately after manufacturing, the pellets are cooled and dried by passing them through a cooler-dryer. Cool air is blown through the pellets, which are spread thinly on a moving belt in a horizontal cooler. Vertical coolers drop hot pellets through a cooling tower. The pellets are hot when leaving the pellet mill and this heat facilitates drying. For laboratory-scale pelleting, cooling and drying can be accomplished by spreading the pellets and blowing air over them with a fan.

The dry pellets have moisture content of about 10%. Extruded pellets contain more moisture than compressed pellets and therefore, need to be heated to reduce moisture to 10% or less.

Crumbling and screening: Dry pellets are crumbled by passing the cooled, dried pellets through the corrugated rollers of a crumbler. The objective in crumbling is to maintain a high rate of production of smaller particles without producing excessive amounts of fines. This is controlled by adjusting the speed of the rollers and the distance between them. The crumbles are screened to appropriate feed sizes using a shaking, vibrating screen.

Coating (Top-Dressing): The total amount of lipid required in feed formulations cannot be included in the mixture being pelleted, due to processing limitations, except in the case of twin-screw extrusion. High-lipid mixtures simply do not pellet; the lipid lubricates the mixture, limiting compression. Hence, lipid is added after pelleting, either by conveying the pellets through a continuous oil spraying chamber or in batch system. Very high pellet lipid levels require that the oil is added to pellets in a vacuum chamber. The benefits of top-dressing include:

- High lipid levels can be achieved.
- Heat-sensitive substances, such as enzymes, pigments, and vitamins, can be added after pelleting.
- Feed palatability can be increased by coating with palatability-enhancing substances.

Shipping and Storage: After pellets have been cooled, dried, screened, and top-dressed, they can be transferred to bins for storage and bagging. Feed can be delivered to farms in bulk by truck, transferred by auger to storage bins at the farm, and fed. Bagged or sacked feed is generally placed on pallets, wrapped in plastic, and shipped. This prevents excessive feed handling, which can break pellets and tear bags. The maximum storage time for pelleted feeds after manufacture depends on many factors, including the type of manufacturing, formulation, use of antimicrobial compounds, storage conditions, and source and quality of dietary fat. Generally, dry feeds should be used within 90 days, while moist feeds should be used within 60 days.

INGREDIENT AND DIET EVALUATION

Ingredients and finished diets can be evaluated by a variety of chemical and biological tests. These tests are used to check on the accuracy of the manufacturing process arriving at a finished feed of the desired composition (quality control), to measure nutrient loss during manufacture and storage, to predict the nutritional value of a particular formulation, to detect oxidative rancidity, and to measure the nutritional or feeding value of a formulation. The best method to evaluate a diet formulation is to feed it to a group of fish and compare their growth to that of fish fed a standardized diet for which the nutritional value is known. However, this is rarely practicable; hence, chemical analysis is usually employed in place of this method. The following methods are employed in evaluation of ingredients and diets.

Proximate Analysis: Water, crude protein, ether extract, crude fiber, nitrogen-free extract and ash.

Nutrient Analysis: This involves direct measurement of the individual essential nutrients in feeds by chemical analysis. The nutrients include amino acids, fatty acids, minerals, and vitamins.

Chemical Tests: This includes protein and lipid quality evaluations.

Protein quality evaluation: Pepsin digestibility, available lysine, total volatile nitrogen (TVN) and ammonia-nitrogen, and biogenic amines.

Lipid quality evaluation: hydrolytic and oxidative rancidity (peroxide value, thiobarbituric acid-reactive substances (TBARS) test, anisidine value, Kries test, Schall oven test)

Chemical Score and Indispensable Amino Acid Index (IAAI):

Chemical score = $\frac{\text{g limiting amino acid in test protein}}{\text{g amino acid in whole-egg protein}} \times 100$

$$\text{IAAI} = \frac{\frac{\text{ARG (TP)}}{\text{ARG (WEP)}} + \frac{\text{HIS (TP)}}{\text{HIS (WEP)}} + \dots + \frac{\text{VAL (TP)}}{\text{VAL (WEP)}}}{3} \times 100$$

Biological Evaluation:

General methods: Weight gain, specific growth rate, feed conversion ratio, apparent digestibility coefficient, and carcass deposition or nutrient retention.

Protein and amino acid quality evaluation methods: Biological value, protein efficiency ratio (PER), net protein utilization (NPU), and protein retention.

$$\text{PER} = \frac{\text{weight gain (g)}}{\text{Protein fed (g; dry weight basis)}}$$

ZANDEE, D. I.: 1966a. Metabolism in the crayfish *Astacus astacus* III-Absence of cholesterol synthesis. *Arch. Int. Physiol. Biochem.* 74: 435-441.

ZANDEE, D. I.: 1966b. Metabolism in the crayfish *Astacus astacus* L.-I.-Biosynthesis of amino acids. II.-The energy-yield in metabolism. *Arch. Internat. Physiol. Biochem.*, vol. LXXIV, Fas. 1: 35-57.

ZEIN-ELDIN, Z. P. y CORLISS, D.: 1976. The effect of protein levels and sources on growth of *Penaeus aztecus*. *Aq/Conf/76/E. 33*, FAO, Roma, 7 pp.

ZEIN-ELDIN, Z. P. y MEYERS, S. P.: 1973. General considerations of problems in shrimp nutrition. *Proc. World Maricult. Soc.*, 4: 299-317.

Requerimientos de proteína y aminoácidos en peces

M. DE LA HIGUERA

Departamento de Biología Animal, Ecología y Genética
Universidad de Granada (España)

1. Introducción

Aún cuando la determinación de las necesidades cualitativas y cuantitativas de nutrientes esenciales es fundamental para una adecuada formulación de las dietas para peces, la cuantificación de los requerimientos de proteína y aminoácidos esenciales tiene una especial trascendencia. Desde el punto de vista práctico, la proteína, al ser requerida en altas proporciones por la mayoría de los peces cultivables, crear dependencia exterior en muchos países y su alto precio de mercado, encarece considerablemente la formulación de dietas comerciales y condiciona, en muchas ocasiones, la rentabilidad de la producción piscícola. En consecuencia, uno de los principales objetivos de la nutrición de los peces es obtener la máxima incorporación de la proteína de la dieta a las estructuras implicadas en el crecimiento corporal. Para ello, se debe establecer el mínimo nivel de proteína dietaria que asegure la presencia, en los lugares de síntesis proteica, de un patrón específico de aminoácidos en cantidades adecuadas. Esos mínimos niveles óptimos, para máximo crecimiento, corresponden al concepto de requerimientos proteicos, que a su vez, equivalen a la suma de los requerimientos de cada uno de los aminoácidos esenciales junto a un aporte nitrogenado no esencial que, normalmente, queda cubierto por el conjunto de los aminoácidos no esenciales, presentes en las fuentes proteicas empleadas en la formulación de la dieta.

La ingestión de dietas de elevado contenido proteico, al proporcionar una alta disponibilidad de aminoácidos, hace que las concentraciones intracelulares de cada uno de ellos

para una síntesis proteica rápida y eficaz. En consecuencia, cantidades apreciables de aminoácidos son utilizadas con fines energéticos y la rentabilidad de la proteína dietaria para crecimiento resulta relativamente baja. Uno de los principales objetivos de la nutrición de los peces es, precisamente, reducir al máximo ese gasto calórico de la proteína de la dieta mediante la definición precisa de los requerimientos de cada uno de los aminoácidos esenciales, para una determinada especie, y el suministro posterior de dietas en las que los aminoácidos, que lleguen a estar disponibles por el animal, tras los procesos digestivos, lo estén en las cantidades y proporciones adecuadas a las necesidades de la síntesis proteica. Ese objetivo de máximo rendimiento proteico debe contemplar, paralelamente, el establecimiento preciso, en unas determinadas circunstancias, del delicado balance óptimo entre proteína y energía metabolizable, que ha de contribuir a minimizar el uso energético de los aminoácidos.

La necesidad de la coincidencia en un momento dado, de un adecuado balance de aminoácidos, disponible para síntesis de proteínas, lleva consigo una problemática adicional al tratar de establecer dietas de alta rentabilidad nutritiva y económica. En este sentido, hay que tener en cuenta no sólo la existencia de posibles antagonismos entre aminoácidos esenciales y la capacidad de algunos de ellos de ser sustituidos parcialmente por no esenciales, sino las consecuencias de la complementación, de proteínas deficitarias, mediante la adición de aminoácidos libres que, al tener distintos tiempos de absorción, pueden alterar su utilización metabólica y, en consecuencia, el adecuado balance para una síntesis eficaz. Los desbalances que pueden provocar la dieta, sin mencionar la posible influencia de los procesos tecnológicos, pueden también modificar los requerimientos de proteína total e incluso el nivel de ingesta. De hecho, ligeros desbalances pueden inducir unos mayores requerimientos proteicos o una mayor ingesta, como respuesta compensadora, mientras que serios desbalances normalmente llegan a provocar pérdida de apetito con detención del crecimiento.

Por otra parte, la disparidad de resultados bibliográficos, referentes a requerimientos cuantitativos de aminoácidos esenciales, en aquellas especies en las que se han determinado, puede estar influida simplemente por los métodos y regímenes de alimentación a que los animales fueron sometidos en diferentes diseños experimentales. Por ello, entre otras razones, la expresión habitual de los requerimientos se hace en términos de concentración dietaria, lo que no da una información precisa acerca de la

eficiencia de utilización de los aminoácidos, ya que niveles bajos de un aminoácido para una especie, comparada con otra, puede significar que o bien lo utiliza más eficazmente o que consume más alimento. De hecho, al expresar los requerimientos en mg/100 g peso corporal/día, los valores, para tasas máximas de crecimiento, se aproximan (CHO et al., 1985). Esto estaría en concordancia con que la composición global de la proteína muscular no difiere mucho entre especies y con la posible buena correlación entre requerimientos y patrón muscular de aminoácidos, de ahí que, a veces, se recomiende la composición en aminoácidos esenciales del músculo e incluso del huevo, como una primera aproximación a los requerimientos de una determinada especie (KETOLA, 1982).

Aunque se han alcanzado logros importantes, en relativamente poco tiempo, queda un largo camino hasta alcanzar un amplio consenso sobre el patrón óptimo de aminoácidos esenciales, requerido en las dietas para peces, para un adecuado nivel proteico. La cuantificación de dichos requerimientos, en nuevas especies de interés en acuicultura, y el mayor conocimiento, en todas ellas, del metabolismo nitrogenado a distintos niveles, así como de las interacciones con otros nutrientes y sus consecuencias metabólicas y fisiológicas, contribuirán, en definitiva, al desarrollo de una nutrición óptima.

El presente capítulo estará orientado hacia una revisión general de los requerimientos de proteína y aminoácidos esenciales desde un punto de vista nutritivo básico fundamentalmente, evitando, en lo posible, implicaciones de carácter más práctico como las relativas al estudio de posibles fuentes proteicas alternativas, el papel de los lípidos y de los hidratos de carbono en la sustitución del destino energético de la proteína, la posible influencia de los procesos tecnológicos en la utilización nutritiva de la proteína y disponibilidad de aminoácidos esenciales, etc., que serán tratados con detalle en los capítulos correspondientes.

2. Requerimientos de proteína

La proteína de la dieta es utilizada por el organismo con tres fines fundamentales: mantenimiento, repleción de los tejidos depleccionados y crecimiento o formación de nuevas estructuras proteicas. En régimen de producción animal, con disponibilidad de alimento, al no haber deplección tisular de proteína lábil de reserva, los aminoácidos de la dieta se utilizan con fines de mantenimiento y crecimiento. En estas circunstancias, el uso de los aminoácidos, con uno

u otro fin, dependerá no sólo de la cantidad y calidad de la proteína dietaria, disponible para el animal, sino de la relación proteína energía útil en la que lípidos e hidratos de carbono juegan un papel importante. Desde el punto de vista práctico, interesa un mayor destino de la proteína dietaria hacia crecimiento, minimizando al máximo el costo proteico del mantenimiento que incluye, en líneas generales: Síntesis de proteínas funcionales, gluconeogénesis y energía. La síntesis de proteínas funcionales y el mantenimiento de procesos biológicos básicos suponen un gasto obligatorio, que no puede modificarse sin consecuencias negativas, sin embargo, el destino gluconeogénico y energético, hasta cierto punto, puede y debe ser controlado.

Las concentraciones óptimas de proteína en las dietas para peces están marcadas por un delicado balance entre proteína y energía, en el que hay que prestar especial atención a la calidad proteica (patrón adecuado de aminoácidos esenciales disponibles) y fuentes de energía no proteica (grasa e hidratos de carbono). Un exceso de energía no proteica, como resultado de la formulación de dietas con una alta relación energía digestible/energía proteica, a menudo detiene la ingesta antes de que se consuma suficiente cantidad de proteínas, ya que los niveles de ingesta están determinados, fundamentalmente, por la energía total disponible en la dieta (PAGE y ANDREWS, 1973; PETER, 1979). Por otra parte, se pueden obtener bajos índices de crecimiento, o baja rentabilidad económica, cuando se utilizan fórmulas de bajo contenido de energía no proteica. De hecho, dietas con niveles proteicos que excedan los requerimientos del crecimiento suponen un gasto energético de los aminoácidos (COWEY, 1979), que no es deseable, desde el punto de vista de los índices de conversión y rentabilidad de la dieta. En estas circunstancias se incrementa considerablemente el destino gluconeogénico de los aminoácidos, aumentando las actividades de los enzimas implicados (COWEY *et al.*, 1981).

La calidad proteica es, al mismo tiempo, un factor que hay que cuidar especialmente al establecer la concentración óptima de proteína dietaria para máximo crecimiento y viene definida, básicamente, por su digestibilidad y contenido en aminoácidos esenciales, condicionantes ambos, en último término, de la disponibilidad de un patrón equilibrado de aminoácidos para síntesis proteica. Además, existe una serie de factores, a tener en cuenta, que pueden alterar los requerimientos de proteína, al afectar su digestión, absorción y utilización metabólica, como son, entre otros: estado fisiológico de los animales, temperatura, salinidad, interacción con otros nutrientes, procesos tecnológicos de preparación de dietas, etc. Por tanto, aunque

no se pueden dar valores exactos, para los requerimientos proteicos de una determinada especie, existen datos bibliográficos que, en función de los diseños experimentales empleados, se aceptan como tales requerimientos y constituyen la base útil y fiable para el desarrollo de dietas, cuya formulación debe contemplar, además, aquellos otros factores y datos experimentales que puedan incidir en la disponibilidad última de aminoácidos para crecimiento óptimo. En este sentido, una menor calidad y digestibilidad proteica podría, hasta ciertos niveles, compensarse, aumentando la cantidad de proteína en la dieta, aunque otra alternativa sea la suplementación con aquellos aminoácidos esenciales cuando sea deficitaria, procedimientos habituales en la formulación de dietas comerciales.

Puesto que la cantidad y calidad de la proteína de la dieta es uno de los principales determinantes del crecimiento de los peces, uno de los principales objetivos de la investigación es la determinación de los requerimientos proteicos de las distintas especies cultivables. La primera determinación de las necesidades proteicas fue realizada en el salmón *Oncorhynchus tshawytscha* por DE LONG *et al.* (1958) y el diseño experimental empleado se ha venido, básicamente, utilizando para éste y otros nutrientes, en la determinación de los requerimientos de distintas especies. En líneas generales, los ensayos se llevan a cabo con animales jóvenes, durante un período de tiempo suficientemente largo, con dietas que contienen proteínas de alta calidad y un adecuado aporte calórico y de nutrientes esenciales. La respuesta de crecimiento (incremento de peso, índices de conversión de alimento, etc.) de grupos de animales, alimentados con dietas de diferente contenido proteico, es frecuentemente hiperbólica (fig. 1), ya que la respuesta a un aumento continuo en el contenido proteico de la dieta cursa con un incremento decreciente del crecimiento (p. ej., ganancia de peso), hasta que niveles superiores de proteína alcanzan el límite de respuesta y se obtiene una meseta. Los requerimientos de proteína, (mínimo nivel para máximo crecimiento) quedan así fijados por la intersección entre la línea de la meseta y la prolongación de la porción lineal inicial de la curva. Existen varios métodos estadísticos, aplicables a este tipo de ensayos, que han sido discutidos por ZEITOUN *et al.* (1976), en relación a su validez junto a una serie de requisitos experimentales.

En la tabla 1 se relacionan datos de requerimientos proteicos obtenidos en algunas especies de peces. En general, los valores oscilan entre el 35 y el 55 % de proteína para máximo crecimiento. Sin embargo, la mayoría de esos datos fueron obtenidos con dietas en las que la formulación,

tasas de crecimiento rentables. En este sentido, ZEITOUN (1978) introduce el concepto práctico de requerimientos económicos de proteína, cuando ésta puede ser factor limitante de la rentabilidad del cultivo. En este sentido, la fig. 2 representa la curva dosis-respuesta, correspondiente a un polinomio de segundo grado, obtenida al relacionar el nivel proteico de la dieta con los correspondientes incrementos de peso, para la trucha arco iris. Cuando los límites de confianza son mínimamente aceptables para cada nivel proteico, X_1 corresponde a la estimación del nivel proteico del que se espera que se produzca un crecimiento medio igual al mínimo del intervalo correspondiente a Y_{max} , siendo Y_{max} el óptimo crecimiento que se obtiene para el nivel proteico X_{max} (requerimientos proteicos óptimos). X_0 sería el nivel proteico para el cual las máximas respuestas de crecimiento corresponden a las mínimas de X_{max} . Cuando la economía del piscicultivo así lo aconseje, el intervalo entre X_0 y X_1 puede ser considerado como una estimación grosera de la concentración de proteína que minimiza el costo de la dieta, mientras se mantienen respuestas de crecimiento aceptables.

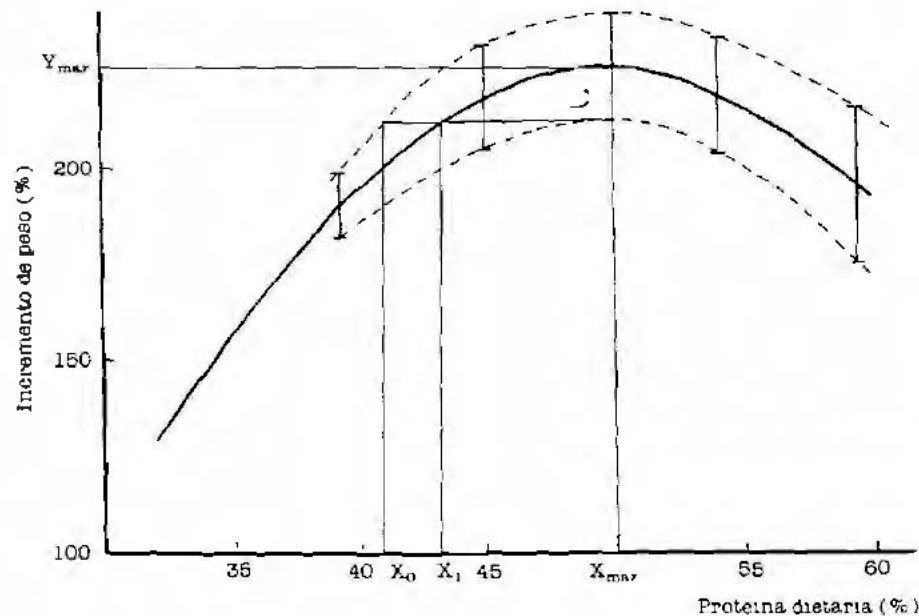


Fig. 2. Curva dosis-respuesta en la que el intervalo X_0 - X_1 representa una estimación del nivel proteico que minimiza el costo de la dieta, para un crecimiento aceptable («requerimientos económicos de proteína»)

Los requerimientos nutritivos se determinan, normalmente, en animales jóvenes con alta velocidad de crecimiento; sin embargo, los requerimientos proteicos generalmente disminuyen con la edad/tamaño de los peces. Por ejemplo, los salmónidos requieren alrededor del 50 % de proteína durante el arranque de su alimentación, disminuye al 40 % a las 6 u 8 semanas (SATIA, 1974) y experimentan una nueva reducción (37 %) al año de edad (N.C.R., 1981). Los mayores requerimientos proteicos de los animales más jóvenes están de acuerdo con la mejor utilización nutritiva de la proteína para crecimiento, cuando se comparan grupos de truchas arco iris de distinta edad, para un mismo nivel de proteína dietaria (GÓMEZ-JARABO *et al.*, 1979). En otras especies como el salmón coho (HALVER, 1969, 1970), carpa (OGINO y SAITO, 1970), anguila japonesa (NOSE y ARAI, 1972) y pez gato (GARLING y WILSON, 1976; ANDREWS, 1977) se ha demostrado también la disminución de los requerimientos proteicos con el aumento en edad de los animales.

La temperatura del agua se ha observado que no afecta, normalmente los requerimientos cuantitativos de proteína y energía de algunas especies de peces y si modifica, en casi todas, la ingesta total, velocidad de crecimiento e índices de utilización nutritiva. En el salmón *Oncorhynchus tshawytscha* (de 1,5 a 6 g de peso inicial), DE LONG *et al.* (1958) interpretaron una relación directa entre requerimientos de proteína y temperatura del agua, aumentando el nivel proteico requerido desde el 40 % al 55 % cuando la temperatura del agua varía de 8,3 °C a 14,4 °C, respectivamente; sin embargo, esa relación era lineal sin un límite de respuesta al nivel proteico de la dieta. El *striped bass* si parece presentar un incremento de los requerimientos con la temperatura (MILLIKIN, 1982), alevines de 1,4 gr requieren un 47 % de proteína a 20,5 °C mientras que a 24,5 °C los requerimientos, para un tamaño ligeramente superior (2,2 gr), aumentan hasta alrededor del 55 %. En otras especies no se ha observado efecto de la temperatura sobre los requerimientos cuantitativos de proteína. En este sentido, POSSOMPES (1973) encuentra también un incremento lineal en la ganancia de peso de la trucha para dietas con niveles proteicos del 21 al 60 %, a temperaturas de 10 y 17 °C; sin embargo, estos resultados contrastan con la determinación de los requerimientos proteicos de la trucha, por distintos autores (tabla 1), en donde se alcanza un límite de respuesta en la ganancia de peso respecto al nivel proteico, y son probablemente debidos a un efecto de interacción con la glucosa utilizada para hacer isocalóricas las distintas dietas empleadas. Sin embargo, en otra serie de ensayos (N.C.R., 1981), la trucha

aminoácidos, en unas cantidades y proporciones adecuadas, para la fabricación de sus propias proteínas funcionales y estructurales, lo que equivale a mantener su estado fisiológico y sustentar un crecimiento óptimo. Después de la digestión de la proteína ingerida, los aminoácidos liberados son absorbidos para constituir un pool endógeno, a partir del cual van a ser utilizados con distintos fines. El patrón de aminoácidos endógenos, a disposición metabólica en el animal, está compuesto por dos categorías nutritivas de aminoácidos: los esenciales y los no esenciales. La esencialidad de un aminoácido significa que no puede ser sintetizado por el organismo y, en consecuencia, debe ser aportado en la dieta. El material genético de cada especie, que determina la secuencia y composición en aminoácidos de sus proteínas funcionales y estructurales específicas, exige unas cantidades mínimas disponibles de cada uno de los aminoácidos esenciales. Lógicamente, las necesidades aminoacídicas del animal, y por tanto proteicas, son mayores que la suma de los requerimientos esenciales, y por tanto, deben también cubrirse con la dieta.

El primer animal cuyos requerimientos en proteína y aminoácidos fueron determinados, en condiciones cuidadosamente definidas, fue la rata albina en crecimiento (*Rattus norvegicus*). Usando una mezcla de aminoácidos purificados, comúnmente encontrados en proteínas animales y vegetales, ROSE *et al.* (1949) demostraron que Treonina, Triptófano, Histidina, Leucina, Isoleucina, Lisina, Metionina, Valina y Fenilalanina no pueden ser sintetizados por la rata, a partir de la dieta. La Arginina puede ser sintetizada pero no en proporción a las demandas para crecimiento. Por otra parte, Glicina, Alanina, Serina, Prolina, Hidroxi-Prolina, Aspártico, Glutámico, Cistina y Tirosina pueden ser sintetizados en proporciones adecuadas cuando no están presentes en la dieta.

El éxito de demostrar los requerimientos cualitativos permitió dar paso a la determinación de los requerimientos cuantitativos. Usando una mezcla adecuada de aminoácidos purificados a un nivel nitrogenado óptimo, ROSE *et al.* (1949) variaron el nivel individual de cada uno de los aminoácidos para encontrar el mínimo nivel asociado a máximo crecimiento. La suma de los requerimientos mínimos para los diez aminoácidos esenciales (incluyendo la arginina), fue de tan sólo el 5,8 % de la dieta. Un crecimiento del 40 % puede ser obtenido con esta mezcla como única fuente de nitrógeno. La adición de 0,6 g de nitrógeno en forma de citrato diamónico permitió un crecimiento óptimo, ya que ese aporte extra de nitrógeno era suficiente para que el organismo fabricara, a partir de restos carbonados, los aminoácidos no esenciales para un

crecimiento óptimo. Esa combinación que resultó ser extremadamente eficaz correspondía a una dieta del 12,5 % de proteína cruda ($N \times 6,25$).

Los estudios clásicos de ROSE en rata, han servido como modelo para llevar a cabo estudios análogos en otras especies, incluidos los peces. De hecho, también en estos animales, el establecimiento de cuales son los aminoácidos esenciales ha sido y es un requisito, para estudios más profundos y prácticos acerca de la nutrición proteica de los peces.

Requerimientos cualitativos

Los aminoácidos que han sido obtenidos de fuentes naturales, constituyendo las unidades estructurales de las proteínas, son unos 23 L-estereoisómeros de los cuales 10 son esenciales o indispensables para los peces que, al no poderlos sintetizar, deben obtenerlos de la dieta. La determinación de los requerimientos cualitativos de aminoácidos en los peces se ha basado en ensayos prolongados de alimentación, en los que se evalúa la influencia de dietas deficientes en un aminoácido, sobre el crecimiento y la conversión del alimento; o, también, mediante estudios de marcaje con C^{14} para demostrar la esencialidad de aquellos aminoácidos que no pueden ser sintetizados por el organismo.

Los primeros estudios, para establecer la esencialidad de algunos aminoácidos, fueron realizados por HARVER *et al.* (1957) en el salmón *Oncorhynchus tshawytscha*, gracias al desarrollo de dietas adecuadas al hábitat acuático de estos animales, que abrieron el camino al estudio de sus requerimientos nutritivos. Para llevar a cabo sus ensayos, seleccionaron en primer lugar, la fuente proteica más idónea, en función de su utilización nutritiva y eficacia de crecimiento. La comparación de los resultados correspondientes a un patrón de aminoácidos, basados en una dieta a base de caseína-gelatina, con los obtenidos para patrones de composición igual a la del saco vitelino o del propio alevín de salmón, dio como óptimo al de caseína-gelatina que emplearon como dieta control, la cual contenía un total del 70 %, en sustancia seca, de la mezcla patrón de aminoácidos puros. Las dietas, deficientes en cada uno de los 18 aminoácidos ensayados, fueron preparadas sustituyendo cada aminoácido de la mezcla por una cantidad igual de α -celulosa. Las dietas así formuladas se administraron a grupos de 200 animales de 2 g de peso inicial, y se determinó, para cada dieta deficiente en un aminoácido, si experimentaban una reducción significativa en la ganancia

Una nutrición óptima y rentable se basa en que el suministro de nutrientes esenciales, con la dieta, sea suficiente, y no excesivo, para satisfacer las demandas del crecimiento y mantener un estado fisiológico normal. Esta aseveración es especialmente trascendente en el caso de la proteína, al ser el componente mayoritario de la dieta y condicionante del rendimiento económico de una producción piscícola. Para minimizar el nivel de proteínas en la dieta, independientemente de la fuente proteica empleada, es necesario el conocimiento previo de los requerimientos cuantitativos de cada uno de los aminoácidos esenciales, posibles antagonismos entre ellos y capacidad de algunos de ser sustituidos, parcialmente, por aminoácidos no esenciales. Por otra parte, una síntesis proteica óptima exige la presencia simultánea, en los lugares de síntesis, de un patrón adecuado de aminoácidos, en cantidades adecuadas; por tanto, la calidad proteica de una dieta depende no solamente de su composición en aminoácidos esenciales sino de su utilización digestiva, ya que ésta va a condicionar la cantidad de cada uno de los aminoácidos absorbidos y, en consecuencia, el patrón disponible para un crecimiento óptimo. Otro aspecto, que contribuye a minimizar el aporte proteico, consiste en optimizar la relación proteína/energía metabolizable total de la dieta, que será tratado, posteriormente, en otro capítulo.

La determinación de los requerimientos absolutos de aminoácidos esenciales se ha venido haciendo tradicionalmente mediante la obtención de curvas dosis-respuesta y, aunque se han desarrollado métodos alternativos, basados en las concentraciones plasmáticas de aminoácidos esenciales, las recomendaciones de necesidades siguen estando basadas en métodos de ganancia de peso, en función de concentraciones crecientes, de un determinado aminoácido, en las dietas experimentales.

El primer problema que se presenta al iniciar el estudio de los requerimientos de aminoácidos, de una determinada especie, es establecer la formulación de una dieta basal que asegure el aporte de nutrientes esenciales en cantidades mínimas suficientes para máximo crecimiento. Se han venido utilizando, como referencia o control, proteínas y/o mezclas de aminoácidos que aseguren, a priori, un adecuado balance aminoacídico. El equipo de Halver, que ha producido la mayor parte de la información disponible, comenzó por seleccionar el patrón de aminoácidos más adecuado, ensayando la eficacia del correspondiente a una mezcla de caseína-gelatina y comparándolo con patrones basados en

la composición del saco vitelino y del propio alevín de salmón (*Oncorhynchus tshawytscha*), especie utilizada en los ensayos. El patrón de caseína-gelatina, al producir mejores tasas de crecimiento e índices de conversión, fue adoptado como base para la evaluación de requerimientos cualitativos (HALVER *et al.*, 1957). Para la cuantificación de los requerimientos el equipo de Halver modificó la dieta de referencia, añadiendo aminoácidos libres, a una base de caseína-gelatina, hasta un contenido proteico total del 40 % con un patrón de aminoácidos equivalente al de la proteína de huevo (MERTZ, 1972). En el pez *Ictalurus punctatus*, el grupo de investigadores liderado por Wilson, utilizó como dieta de referencia la formulada al 24 % de proteína, a base, también, de caseína-gelatina más aminoácidos libres, con un patrón total de aminoácidos igual al de la proteína de huevo, para determinar los requerimientos en lisina (WILSON, *et al.*, 1977, ROBINSON *et al.*, 1980b), metionina-cistina (HARDING *et al.*, 1977), triptófano y treonina (WILSON *et al.*, 1978), leucina, isoleucina, valina e histidina (WILSON *et al.*, 1980), fenilalanina-tirosina (ROBINSON *et al.*, 1980a) y arginina (ROBINSON *et al.*, 1981). Para la determinación de los requerimientos esenciales de la carpa (NOSE, 1979) se utilizó como dieta de referencia una mezcla de aminoácidos (48 % de la dieta), basada en la dieta de caseína-gelatina empleada por HALVER (1957) y neutralizada con hidróxido sódico.

Aunque la mayor parte de las investigaciones han estado basadas en las dietas formuladas por el grupo de Halver, en los últimos años se detectan en la bibliografía otras alternativas. En este sentido, KETOLA (1982) propone, después de comparar patrones de aminoácidos, basados en la composición de harinas de pescado, carcasa y huevo de trucha y salmón y los requerimientos recomendados para el salmón (N.R.C., 1973) que, aunque el contenido en aminoácidos del huevo difiere de los requerimientos establecidos, la composición del huevo es útil para suplementar con éxito las proteínas de la dieta, al menos para el salmón (*Salmo salar*) y la trucha arco iris (*Salmo gairdneri*). Al mismo tiempo, KETOLA (1982) suministra información sobre la composición en aminoácidos del huevo de varias especies de peces, sugiriendo, a la vista de sus resultados con trucha y salmón, su uso potencial como patrón aminoacídico en estudios de requerimientos de aminoácidos esenciales. Por otra parte, a nivel de la incorporación de los aminoácidos a los tejidos, durante el crecimiento, la composición de la proteína corporal debería ser también una buena aproximación al patrón de aminoácidos requerido. Para los monogástricos terrestres, se ha afirmado que ese patrón corporal se correlaciona con

et al., 1981), al favorecer la coincidencia de un patrón de aminoácidos adecuado en los lugares de síntesis proteica, mejora la utilización nutritiva de los aminoácidos. Efectivamente, cuando THEBAULT (1985) analiza, en la lubina, la evolución sérica postprandial de los aminoácidos esenciales, observa un pico precoz correspondiente a la metionina suplementada, en relación al resto de los aminoácidos proteicos, sugiriendo que esta asincronía podría explicar la relativa ineficacia de la suplementación. De entre los peces, los salmónidos parecen ser los más aptos para utilizar los aminoácidos libres adicionados a la dieta, habiéndose obtenido índices de crecimiento próximo a los que sustenta la harina de pescado, suplementando fuentes proteicas deficientes con los correspondientes aminoácidos esenciales limitantes (DABROWSKA y WOJNO, 1977; KETOLA, 1982; POSTON et al., 1977; TIEWS et al., 1976). Hasta que no se disponga de datos relativos a concentraciones tisulares de aminoácidos y niveles y datos cinéticos de sus correspondientes vías de desaminación, no se podrá dar una respuesta clara a la variabilidad en el uso de los aminoácidos libres, por las distintas especies de peces.

La citada necesidad de una coincidencia de los aminoácidos, en los lugares de síntesis proteica, se consigue cuando se emplean cantidades suficientes de una mezcla de aminoácidos libres, cosa que no ocurre siempre, cuando proteínas deficientes se suplementan con uno o varios aminoácidos, produciendo índices de crecimiento inferiores. De cualquier forma, la ganancia de peso, cuando se formulan dietas con un amplio contenido en aminoácidos libres, en la determinación de requerimientos esenciales, es normalmente inferior a la obtenida con dietas proteicas con idéntico patrón de aminoácidos. De cualquier forma, ha tenido éxito, en algunas especies, el empleo de proteínas relativamente deficientes en un determinado aminoácido esencial, para la cuantificación de requerimientos, como es el caso de la arginina en la trucha arco iris (KAUSHIK, 1977), o del triptófano en la carpa (DABROWSKI, 1981), en cuyos ensayos se empleó una dieta a base de zeína.

Sin embargo, los valores de requerimientos obtenidos, haciendo uso de este último tipo de dietas, sólo deben ser considerados como estimaciones, debido a una serie de problemas inherentes a este procedimiento entre los que habría que citar: la variabilidad en la utilización digestiva de las proteínas empleadas, la disponibilidad de aminoácidos esenciales en una determinada fuente proteica, la velocidad de paso y absorción en relación al o los aminoácidos suplementados, el posible desbalance entre los aminoácidos de la proteína como por ejemplo los altos niveles de leucina en la zeína y gluten de maíz que puede afectar la absorción y

asimilación de otros aminoácidos, etc. (Elliott y Woynowicz, 1983) han revisado recientemente los problemas involucrados en la determinación precisa de los requerimientos de aminoácidos esenciales en los peces, algunos de los cuales se tratan en este capítulo.

Con unos y otros criterios de formulación de dietas, adecuadas para la cuantificación de los requerimientos de cada uno de los aminoácidos esenciales, lo que se pretende, en cualquier caso, es suprimir, o reducir al máximo, a uno de ellos en la fórmula y preparar dietas con niveles crecientes de ese aminoácido, para ser ensayadas, en grupos amplios de animales en crecimiento activo y durante un período de tiempo suficientemente largo, para obtener curvas dosis-respuesta, relativas al crecimiento (o índices de conversión de alimento) de los animales (fig. 6). Un

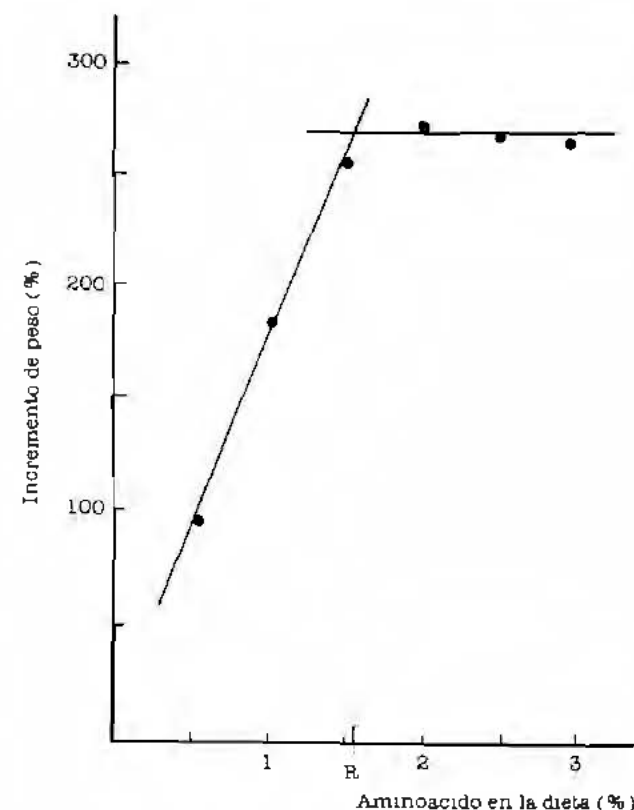


Fig. 6. Influencia de la concentración dietaria de un aminoácido esencial sobre el crecimiento. R: requerimientos del aminoácido esencial.

TABLA 2 (continuación)

Requerimientos cuantitativos de lisina, metionina y fenilalanina de algunas especies de peces, expresados en porcentaje de proteína. En paréntesis, los numeradores son requerimientos en porcentaje de dieta y los denominadores indican el porcentaje de proteína total en la dieta.

Especie	Lisina	Metionina	Fenilalanina
<i>Anguilla japonica</i>	5,3 (2,0/37,7) ^{*1}	3,2 (1,2/37,7) ^{*2} Cistina: 0 % en dieta	5,8 (2,2/37,7) ^{*1} Tirocina: 0 % en dieta
<i>Chrysophrys aurata</i>	5,0 (1,7/34) ^{***10}	4,0 (1,4/34) ^{***10} Cistina: sin datos	
<i>Cyprinus carpio</i>	5,7 (2,2/38,5) ^{*11}	3,1 (1,2/38,5) ^{*11} Cistina: 0 % en dieta	6,5 (2,5/38,5) ^{*11} Tirocina: 0 % en dieta
<i>Dicentrarchus labrax</i>		2,0 (1,0/50) ^{***13} Cistina: sin datos	
<i>Ictalurus punctatus</i>	5,1 (1,23/24) ^{*14} 5,0 (1,5/30) ^{*13}	2,3 (0,50/24) ^{*14} Cistina: 0 % en dieta	5,0 (1,20/24) ^{*13} Tirocina: 0,3 % en dieta
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	5,0 (2,0/40) ^{*13}	4,0 (1,6/40) ^{*4} Cistina: 1 % en dieta	5,1 (2,1/41) ^{*2} Tirocina: 0,4 % en dieta
<i>Salmo gairdneri</i>	3,7 (1,3/35) ^{*15} 6,1 (2,9/47) ^{*17} 4,2 (1,9/45) ^{*17}	2,2 (1,0/46,4) ^{*13} Cistina: 0 % en dieta 3,0 (1,1/35) ^{*12} Cistina: 0,3 % en dieta 2,9 (1,0/35) ^{*13} Cistina: 0,5 % en dieta	
<i>Sarotherodon mossambicus</i>	4,1 (1,62/40) ^{*16}	3,2 (1,27/40) ^{*16} Cistina: 0,7 % en dieta	

Dieta * purificada, ** semipurificada, *** práctica.

¹ ARAI (NOSE, 1979), ² CHANCE *et al.* (1964), ³ HALVER *et al.* (1968), ⁴ HALVER *et al.* (1959), ⁵ HARDING *et al.* (1977), ⁶ JACKSON y CAPPER (1982), ⁷ KETOILA (1983), ⁸ KIM y KAYES (1983), ⁹ KIM *et al.* (1984), ¹⁰ LUQUET y SABAUT (1974), ¹¹ NOSE (1979), ¹² ROBINSON *et al.* (1980a), ¹³ ROBINSON *et al.* (1980b), ¹⁴ RIMSEY *et al.* (1983), ¹⁵ THERIAULT *et al.* (1981), ¹⁶ WALTON *et al.* (1982), ¹⁷ WALTON *et al.* (1984a), ¹⁸ WILSON *et al.* (1977).

TABLA 2 (conclusión)

Requerimientos cuantitativos de isoleucina, leucina y valina de algunas especies de peces, expresados en porcentaje de proteína. En paréntesis, los numeradores son requerimientos en porcentaje de dieta y los denominadores indican el porcentaje de proteína total en la dieta.

Especie	Isoleucina	Leucina	Valina
<i>Anguilla japonica</i>	4,0 (1,5/37,7) ^{*1}	5,3 (2,0/37,7) ^{*1}	4,0 (1,5/37,7) ^{*1}
<i>Cyprinus carpio</i>	2,6 (0,9/38,5) ^{*4}	3,3 (1,3/38,5) ^{*4}	3,6 (1,4/38,5) ^{*4}
<i>Ictalurus punctatus</i>	2,6 (0,62/24) ^{*6}	3,5 (0,84/24) ^{*6}	3,0 (0,71/24) ^{*5}
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	2,2 (0,9/41) ^{*2}	3,9 (1,6/41) ^{*2}	3,2 (1,3/40) ^{*2}
<i>Salvelinus fontinalis</i>	2,0-2,6 ^{***3} (0,5-0,72/27,6)	3,5-4,6 ^{***3} (0,96-1,28/27,6)	2,6-3,3 ^{***3} (0,62-0,78/23,7)

Dieta * purificada, ** semipurificada, *** práctica.

¹ ARAI (NOSE, 1979), ² CHANCE *et al.* (1964), ³ HUGHES *et al.* (1983), ⁴ NOSE (1979), ⁵ WILSON *et al.* (1980).

requerimientos de este aminoácido y su capacidad de ser sustituido por cistina se han llevado a cabo, generalmente, utilizando el isómero natural L-metionina; sin embargo, los animales no acuáticos han sido con frecuencia alimentados con las formas L y D-L de la metionina y análogos como el ácido 2-hidroxi-4 (metiltio)-butanoico o su sal de calcio, aunque a los peces también se les han suplementado dietas con formas L y D-L. La bioeficacia de los citados análogos, en relación a la L o D-L metionina, ha sido recientemente ensayada en la trucha arco iris por POSTON (1986) encontrando que la L-metionina produce un crecimiento más rápido, seguida de la D-L-metionina, la sal de calcio del citado análogo y el análogo como tal ácido. Es interesante señalar que el análogo, como sal de calcio, produjo del 85,7 al 92,3 % de la ganancia de peso obtenida con dietas suplementadas con L y D-L-metionina. Resultados del mismo orden han sido obtenidos en aves (VAN WEERDEN *et al.*, 1982; ELKIN y HESTER, 1983). En el pez-gato los resultados no fueron tan positivos, ya que el análogo de la metionina produjo una ganancia de peso de tan sólo el 26 % de la obtenida con L o D-L-metionina (ROBINSON *et al.*, 1978). Estos autores ensayaron también, sin éxito, taurina y sulfato inorgánico, que no llegaron a inducir una respuesta significativa en la ganancia de peso al sustituir la metionina de la dieta.

Al ser la metionina uno de los aminoácidos más frecuentemente limitantes en las fuentes proteicas empleadas en alimentación animal, conviene recordar aquí que su determinación no es fácil por la oxidación que puede sufrir durante su análisis hacia la formación de sulfóxido y sulfona. Estas oxidaciones también pueden tener lugar durante el procesado del alimento, de tal forma que por análisis rutinario no se sabe cuanta metionina en relación a metionina-sulfóxido está disponible en la dieta. COWEY (1979) indica que la metionina-sulfóxido pudiera tener alguna actividad biológica en los peces, de tal forma que, en ciertas condiciones, podría reducir algo de metionina sulfóxido a metionina utilizable, por lo que sería interesante disponer de datos relativos a su valor biológico en los peces.

En el caso de los aminoácidos aromáticos, la esencialidad de la fenilalanina puede sustituirse parcialmente por tirosina, a niveles de hasta el 50 %, en el pez-gato (ROBINSON *et al.*, 1980a). Datos para otras especies se relacionan en la tabla 2. Por otra parte, el efecto tóxico de altas concentraciones de tirosina en la dieta, demostrado en otros animales (HARPER *et al.*, 1970) no se ha demostrado en peces, al menos en el pez-gato que es en el que se han llevado a cabo ensayos con niveles dietarios de hasta el 10 % (ROBINSON *et al.*, 1980a).

En cuanto a la posibilidad de antagonismos entre aminoácidos, que sería otro aspecto a tener en cuenta, la evidencia experimental con otros animales señala, como evidencia clara de antagonismo, los producidos entre las parejas de aminoácidos esenciales: lisina-arginina y leucina-isoleucina. No hay que descartar la posibilidad de que existan estos antagonismos en los peces y que, incluso, puedan darse otros entre dos o más aminoácidos. El caso del par arginina-lisina es uno de los más notables en cuanto a interacciones entre aminoácidos. Se ha demostrado en algunas especies terrestres (MAYNARD y LOOSLI, 1969), que niveles excesivos de lisina en la dieta producen una inhibición del crecimiento que se puede aliviar por la adición de arginina, y, por otra parte, un exceso de arginina en la dieta deprime el crecimiento en animales alimentados con dietas limitantes en lisina. En el pez gato no parece darse este antagonismo lo que, aparentemente, indica una falta de sensibilidad a las desproporciones lisina-arginina de la dieta (ROBINSON *et al.*, 1981). Esto no quiere decir que pueda darse este antagonismo en otras especies de peces y que, por tanto, deba ser tenido en cuenta en la investigación de los requerimientos nutritivos de aminoácidos esenciales y, en consecuencia, en la formulación de dietas para peces.

En relación, también, con las posibles alteraciones en las disponibilidades de lisina en la dieta, hay que señalar que este aminoácido básico tiene dos grupos amino, uno en posición α que participa en la formación del enlace peptídico y un grupo amino (ϵ), que debe estar libre y reactivo para que la lisina se encuentre biológicamente disponible (CARPENTER y ELLINGER, 1955). Durante el procesado de la dieta los grupos ϵ -amino de la lisina pueden reaccionar con moléculas no proteicas presentes en la dieta para formar compuestos que hacen a la lisina biológicamente no disponible, pudiendo desarrollarse una deficiencia, de ahí que la valoración de la lisina disponible se correlacione muy bien con el valor biológico de la proteína de la dieta.

Interacciones nutritivas y metabólicas entre los aminoácidos de cadena ramificada, leucina, isoleucina y valina, han sido puestas de manifiesto en vertebrados superiores. En peces, los primeros estudios acerca de la posibilidad de antagonismos, entre estos aminoácidos esenciales, se deben a CHANCE *et al.* (1964), quienes establecieron, para el salmón *Oncorhynchus tshawytscha*, requerimientos de 1,6 % de leucina y 1,3 % de valina en la dieta. Los requerimientos de isoleucina dependen de la concentración de leucina en la dieta: 0,9 % con 1,50 % Leu, 1 % con 3,68 % Leu y 1,1 % con 6 % Leu. Por otra parte, un exceso de isoleucina en la dieta reducía la ganancia de peso,

una digestibilidad del 80 % y se suministran en una proporción del 3 % del peso corporal. Sin embargo, este método sólo contempla las necesidades de crecimiento corporal y no tiene en cuenta las necesidades metabólicas y funcionales de mantenimiento, etc., que también deben estar cubiertas con la dieta.

Es interesante subrayar, haciendo uso de los datos de OGINO (1980), que no hay diferencias entre las proporciones relativas de los requerimientos individuales de aminoácidos y las de los correspondientes de la proteína corporal. Este hecho nos lleva, de nuevo, al planteamiento realizado en párrafos anteriores, por el cual, si el patrón de aminoácidos esenciales del músculo de distintas especies de peces es muy similar, el patrón de requerimientos absolutos deba ser igualmente parecido (COWEY y TACON, 1983). Según estos mismos autores (TACON y COWEY, 1985), el método de OGINO (1980) ofrece ventajas como: suministrar una proteína completa de alto valor biológico, los requerimientos de todos los aminoácidos esenciales pueden ser determinados simultáneamente en un mismo ensayo y se pueden cuantificar, sin pérdida de precisión, independientemente de la edad/tamaño de los animales.

4. Síntomas de deficiencia de aminoácidos esenciales

La deficiencia de aminoácidos esenciales en la dieta de los peces se manifiesta, generalmente, por una sintomatología que incluye pérdida de apetito, reducción del crecimiento, índices de conversión de alimento bajos y una menor actividad. Los animales se mueven con lentitud, acuden al alimento, que mantienen un tiempo en la boca y, finalmente, lo desechan, con las consecuencias citadas sobre el crecimiento. Sin embargo, algunos aminoácidos (metionina, lisina, triptófano), presentan cierta especificidad en el desarrollo de cuadros patológicos que, por otra parte, no siempre manifiestan la misma sintomatología en especies distintas.

En el caso de la lisina, su deficiencia puede afectar la formación de colágeno, ya que la hidroxilisina entra a formar parte de este compuesto en muchas especies de peces. En la trucha arco iris (*Salmo gairdneri*), la ingestión de dietas a base de harina de gluten de maíz, como única fuente proteica, produce una deficiencia de lisina que se traduce en ulceración de las aletas caudales, con pérdida casi total de las mismas (KETOLA, 1979, 1983). La suplementación adecuada de la citada fuente proteica previene la erosión de las aletas y mejora el crecimiento y supervivencia de los animales. La citada sintomatología no

parece inducirse en otras especies como la trucha de lago, *Salvelinus namaycush* (KETOLA, 1982).

La deficiencia de metionina se ha demostrado que llega a inducir la formación de cataratas en la trucha de lago, *Salvelinus namaycush* (POSTON *et al.*, 1977) y en la trucha arco iris, *Salmo gairdneri* (PAGE, 1978; PAGE *et al.*, 1978). De acuerdo con POSTON *et al.* (1977), la insuficiencia de metionina produce una reducción en la concentración de grupos sulfidrilo. La síntesis de glutatión en el cristalino disminuye, también, rápidamente, durante la formación de cataratas. Estos autores sugieren que el glutatión, posiblemente juegue, en el cristalino, un papel de protección de los grupos sulfidrilo, frente a la oxidación a que espontáneamente pueden estar expuestos.

Síntomas de deficiencia de triptófano han sido descritos en la trucha arco iris (*Salmo gairdneri*), salmón (*Onchorhynchus nerka*), trucha (*Salvelinus fontinalis*) y pez-gato (*Ictalurus punctatus*). En la trucha arco-iris, la deficiencia de triptófano produce escoliosis (SHANKS *et al.*, 1962; KLOPPEL y POST, 1975; POSTON y RUMSEY, 1983; WALTON *et al.*, 1984), lordosis (WALTON *et al.*, 1984), hiperemia (KLOPPEL y POST, 1975) erosión de aletas caudales y cataratogenesis (POSTON y RUMSEY, 1983) y acúmulo anormal de calcio, magnesio, sodio y potasio en hígado y riñón (WALTON *et al.*, 1984). Esta sintomatología es consecuencia de alguna(s) de las implicaciones del triptófano, como constituyente de proteínas, precursor de la serotonina y ácido nicotínico, regulador de las funciones de los polisomas y del metabolismo de los hidratos de carbono. La hiperemia puede ser consecuencia de la falta de serotonina (KLOPPEL y POST, 1975). El hecho de que el triptófano sea uno de los componentes mayoritarios del protocógeno, un posible precursor del colágeno, podría explicar la aparición de escoliosis, según KLOPPEL y POST (1975). También en relación a la síntesis proteica podría explicarse la aparición de cataratas, la alteración de la estructura proteica del cristalino podría ser la causa, como así se ha observado en salmones deficientes en metionina (BARASH *et al.*, 1982). En cuanto a las posibles consecuencias de una deficiencia de triptófano, como precursor de la niacina, POSTON y RUMSEY (1983), al suprimir la niacina suplementada en la dieta, no encontraron alteraciones en la respuesta de la trucha arco-iris al triptófano. En el salmón *Onchorhynchus nerka*, HALVER y SHANKS (1960) demostraron la incidencia de la deficiencia de triptófano en la aparición de escoliosis y lordosis, mientras que estos autores y WILSON *et al.* (1978) no obtuvieron deformaciones del esqueleto al alimentar el salmón (*Onchorhynchus tshawytscha*) o al pez-gato (*Ictalurus punctatus*) con dietas deficientes en triptófano.

COWEY, C. B.; COOKE, D. J.; MATTY, A. J. y ADRON, J. W.: 1981. Effects of quantity and quality of dietary protein on certain enzyme activities in rainbow trout. *J. Nutr.* 111, 336-345.

COWEY, C. B. y LUQUET, P.: 1983. Physiological basis of protein requirements of fishes. Critical analysis of allowances. IVth Int. Symp. Protein metabolism and nutrition. Les Colloques de l'INRA, n.º 16, 365-384.

COWEY, C. B.; POPE, J. A.; ADRON, J. W. y BLAIR, A.: 1972. Studies on the nutrition of marine flat fish. The protein requirements of plaice (*Pleuronectes platessa*). *Br. J. Nutr.* 28, 447-456.

COWEY, C. B. y TACON, A. G. J.: 1983. Fish nutrition. Relevance to invertebrates. Proceeding Second International Conference on aquaculture nutrition: biochemical and physiological approaches to shellfish nutrition (Editado por: G. D. PRUDER, C. LANDGON y D. CONKLIN). W. M. S. Special publication n.º 2, 13-30.

DABROWSKA, H. y WOJNO, T.: 1977. Studies on the utilization by rainbow trout (*Salmo gairdneri*) of feed mixtures containing soya bean meal and an addition of amino acids. *Aquaculture* 10, 297-310.

DABROWSKI, K.: 1977. Protein requirements of grass carp fry (*Ctenopharyngodon idella*). *Aquaculture* 12, 63-73.

DABROWSKI, K. R.: 1981. Tryptophan requirement of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fry. *Z. Tierphysiol. Tierernähr. Futtermittelkd.* 46, 64-71.

DAVIS, A. T. y STICKNEY, R. R.: 1978. Growth responses of *Tilapia aurea* to dietary protein quality and quantity. *Trans. Am. Fish. Soc.* 107, 479-483.

DE LONG, D. C.; HALVER, J. E. y MERTZ, E. T.: 1958. Nutrition of salmonid fishes. VI. Protein requirements of chinook salmon at two water temperatures. *J. Nutr.* 65, 589-599.

DE LONG, D. C.; HALVER, J. E. y MERTZ, E. T.: 1962. Nutrition of salmonid fishes. X. Quantitative threonine requirements of chinook salmon at two water temperatures. *J. Nutr.* 76, 174-178.

DUPREE, H. K. y HALVER, J. E.: 1970. Amino acid essential for the growth of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Trans. Am. Fish. Soc.* 99, 90-92.

ELKIN, R. G. y HESTER, P. Y.: 1983. A comparison of methionine sources for broilers chickens fed corn-soybean meal diets under simulated commercial grow-out conditions. *Poult. Sci.* 62, 2030-2043.

FAUCONNEAU, B.: 1985. Protein synthesis and protein deposition in fish. En: *Nutrition and Feeding in Fish* (Editado por: C. B. COWEY, A. M. MACKIE y J. G. BELL), p. 17-45. Academic Press, London.

FOWLER, L. G.: 1980. Starting diets for chinook salmon fry. *Prog. Fish. Cult.* 42, 165-166.

FOWLER, L. G.: 1981. Protein and energy relation of starting diets for chinook salmon fry. *Prog. Fish. Cult.* 43, 151-153.

GARLING, D. L. y WILSON, R. P.: 1976. Optimum dietary protein to energy ratio for channel catfish fingerlings (*Ictalurus punctatus*). *J. Nutr.* 106, 1368-1375.

GÓMEZ-JARABO, G.; DE LA HIGUERA, M.; MATAIX, F. J.; VARELA, G. e ILLERA, M.: 1979. La edad como factor determinante de la utilización nutritiva de la proteína por la trucha. *Rev. esp. Fisiol.* 35, 273-278.

GOOLISH, E. M. y ADELMAN, I. R.: 1984. Effects of ration size and temperature on the growth of juvenile common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture* 36, 27-35.

HALVER, J. E.: 1957. Nutrition of salmonid fishes. IV. An amino acid test diet for chinook salmon. *J. Nutr.* 62, 245-254.

KLEIN, R. G. y HALVER, J. E.: 1970. Nutrition of salmonoid fishes: arginine and histidine requirements of chinook and coho salmon. *J. Nutr.* 100, 1105-1110.

KLOPPEL, T. M. y POST, G.: 1975. Histological alterations on tryptophan deficient rainbow trout. *J. Nutr.* 105, 861-866.

LIM, C.; SUKHAWONGS, S. y PASCUAL, P.: 1979. A preliminary study on the protein requirements of *Chanos chanos* (Forsk.) fry in a controlled environment. *Aquaculture* 17, 195-201.

LOVELL, R. T.: 1972. Protein requirements of cage-cultured channel catfish. *Proc. Ann. Conf. Southeast Assoc. Game Fish Comm.* 26, 357-360.

LUQUET, P. y KAUSHIK, S. J.: 1981. Besoins en proteines et en acides aminés. En: *Nutrition des poissons* (Editado por: M. FONTAIN). C.N.R.S., Paris, 171-183.

LUQUET, P. y SABAUT, J. J.: 1974. Nutrition azotée et croissance chez la dourade et la truite. *Actes de Colloques n.º 1. Colloque sur l'Aquaculture*. Brest. 243-253.

MAZID, M. A.; YANAKA, Y.; KATAYAMA, T.; SIMPSON, K. L. y CHICHESTER, C. O.: 1978. Metabolism of amino acids in aquatic animals. III. Indispensable amino acids for *Tilapia zillii*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 44, 739-742.

MAZID, M. A.; TANAKA, Y.; KATAYAMA, T.; ASADUR RAHMAN, M.; SIMPSON, K. L. y CHICHESTER, C. O.: 1979. Growth response of *Tilapia zillii* fingerlings fed isocaloric diets with variable protein levels. *Aquaculture* 18, 115-122.

MEADE, J. W.; KRISE, W. F. y ORT, T.: 1983. Effect of temperature on production of tiger muskellunge in intensive culture. *Aquaculture*, 32, 157-164.

MERTZ, E. T.: 1972. The protein and amino acids needs. En: *Fish Nutrition* (Editado por: J. E. HALVER), pp. 105-143. Academic Press, New York.

MILLIKIN, M. R.: 1982a. Effects of dietary protein concentration on growth, feed efficiency and body composition of age-0 striped bass. *Trans. Am. Fish. Soc.* 111, 373-378.

MILLIKIN, M. R.: 1982b. Qualitative and quantitative nutrient requirements of fishes: a review. *Fish. Bull.* 80(4), 655-686.

MURAI, T.; FLEETWOOD, M. A. y ANDREWS, J. W.: 1979. Optimum levels of dietary crude protein for fingerling american shad. *Prog. Fish. Cult.* 41, 5-6.

MURAI, T.; AKIYAMA, T. y NOSE, T.: 1981. Use of crystalline amino acids coated with casein in diets for carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 47, 523-527.

MURAI, T.; AKIYAMA, T. y NOSE, T.: 1982. Effects of casein coating on utilization of dietary amino acids by fingerling carp and channel catfish. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 48, 787-792.

MURRAY, M. W.; ANDREWS, J. W. y DE LOACH, H. L.: 1977. Effects of dietary protein and environmental temperatures on growth, feed conversion and body composition of channel catfish. *J. Nutr.* 107, 272-280.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL: 1981. Nutrient requirements of coldwater fishes. National Academy Press. Washington, D.C.

NOSE, T.: 1979. Summary report on the requirements of essential amino acids for carp. En: *Finfish Nutrition and Fishfeed Technology* (Editado por: J. E. HALVER y K. TIEWS). pp. 145-156. Heenemann, Berlin.

NOSE, T. y ARAI, S.: 1972. Optimal level of protein in purified diet for eel (*Anguilla japonica*). *Bull. Freshwater Fish. Res. Lab. Tokyo.* 22(2), 145-155.

NOSE, T.; ARAI, S.; LEE, D. L. y HASHIMOTO, Y.: 1974. A note on amino acids essential for growth of young carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 40, 903-908.

SATIA, B. P.: 1974. Quantitative protein requirements of rainbow trout. *Prog. Fish-Cult.* 36(2), 80-85.

SENG-KEH, T.; THIA-ENG, C. y PHAIR-EE, L.: 1978. Preliminary observation on the dietary requirement of estuary grouper *Epinephelus salmoides*. Maxwell cultured in floating net cages. *Aquaculture*. 15, 257-271.

SHANKS, W. E.; GAHIMER, G. D. y HALVER, J. E.: 1962. The indispensable amino acids for rainbow trout. *Prog. Fish-Cult.* 24, 68-73.

SKIYAMA, T.; ARAI, S.; MURAI, T. y NOSE, T.: 1985. Threonine, histidine and lysine requirements of chum salmon fry. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 51, 635-639.

TACON, A. G. J. y COWEY, C. B.: 1985. Protein and amino acid requirements. En: *Fish Energetics* (Editado por: P. TYLER y P. CALOW), pp 155-183. Croom Helm. London y Sydney.

TAKEDA, M.; SHIMENO, S.; HOSOKAWA, H.; KAJIYAMA, H. y AISYO, T.: 1975. The effect of dietary calorie-to-protein ratio on the growth, feed conversion and body composition of young yellow tail. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 41, 443-447.

TESHIMA, S.; GONZÁLEZ, M. O. y KANAZAWA, A.: 1978. Nutritional requirements of tilapia: utilization of dietary protein by *Tilapia zillii*. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.* 27, 49-57.

THEBAULT, H.: 1983. Etude du besoin en methionine chez le loup, *Dicentrarchus labrax*, en milieu controle. These de Doctorat, Université d'Aix-Marseille, France.

THEBAULT, H.: 1985. Plasma essential amino acid changes in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) after feeding deficient and supplemented in L-methionine. *Comp. Biochem. Physiol.* 82A, 233-237.

THEBAULT, H.; ALLIOT, E. y PASTOUREAUD, A.: 1985. Quantitative methionine requirement of juvenile sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*. 50, 75-87.

TIEWS, K.; GROPP, J. y KOOPS, H.: 1976. On the development of optimal rainbow trout pellet feeds. *Arch. Fisch. Wiss.* 27, 1-29.

VAN WEERDEN, E. J.; BERTRAM, H. L. y SCHUTTE, J. B.: 1982. Comparison of D-L-methionine, D-L-methionine-Na, D-L-methionine hydroxy analogue-Ca and D-L-methionine hydroxy analogue free acid in broilers by using a crystalline amino acid diet. *Poult. Sci.* 61, 1125-1130.

WALTON, M. J.; COWEY, C. B. y ADRON, J. W.: 1982. Methionine metabolism in rainbow trout fed diets of differing methionine and cystine content. *J. Nutr.* 112, 1525-1535.

WALTON, M. J.; COWEY, C. B. y ADRON, J. W.: 1984a. The effect of dietary lysine levels on growth and metabolism of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Br. J. Nutr.* 52, 115-122.

WALTON, M. J.; COLOSO, R. M.; COWEY, C. B.; ADRON, J. W. y KNOX, D.: 1984b. The effects of dietary tryptophan levels on growth and metabolism of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Br. J. Nutr.* 51, 279-287.

WERDER, U. y SAINT PAUL, U.: 1978. Feeding trials with herbivorous and omnivorous amazonian fishes. *Aquaculture*. 15, 175-177.

WILSON, R. P.: 1985. Amino acids and protein requirements of fish. En: *Nutrition and feeding in fish* (Editado por: C. B. COWEY, A. M. MACKIE y J. G. BELL), pp 1-16. Academic Press, London.

WILSON, R. P.; ALLEN, O. W.; ROBINSON, E. H. y POE, W. E.: 1978. Tryptophan and threonine requirements of fingerling channel catfish. *J. Nutr.* 108, 1595-1599.

WILSON, R. P.; HARDING, D. E. y GARLING, D. L.: 1977. Effect of dietary pH on amino acids utilization and the lysine requirement of fingerling channel catfish. *J. Nutr.* 107, 166-170.

TABLA 1
Requerimientos de ácidos grasos esenciales en peces.

Especie	Requerimientos	Referencia
Trucha arco iris	18:3 ω 3 18:3 ω 3 18:3 ω 3 ω 3 HUFA	CASTELL <i>et al.</i> (1972) WATANABE <i>et al.</i> (1974) TAKEUCHI y WATANABE (1977a) TAKEUCHI y WATANABE (1977a)
Carpa	18:2 ω 6 y 18:3 ω 3	WATANABE <i>et al.</i> (1974) TAKEUCHI y WATANABE (1977b)
Anguila	18:2 ω 6 y 18:3 ω 3	TAKEUCHI <i>et al.</i> (1980)
Salmon "chum"	18:2 ω 6 y 18:3 ω 3 ω 3 HUFA	TAKEUCHI <i>et al.</i> (1979, 1980) TAKEUCHI <i>et al.</i> (1980)
Salmon "coho" "Ayu"	Tet-18:3 ω 3 18:3 ω 3 6:20:5 ω 3	YU y SHIMMUR (1979) KANAZAWA <i>et al.</i> (1982)
Tilapia zillii	18:2 ω 6 6:20:4 ω 6	KANAZAWA <i>et al.</i> (1980) TAKEUCHI <i>et al.</i> (1983)
Tilapia nilotica	18:2 ω 6	
Besugo (C. mayor)	ω 3 HUFA 6:20:5 ω 3	YONE <i>et al.</i> (1978) GATESOUPPE <i>et al.</i> (1977)
Rodaballo	ω 3 HUFA	DESHIMARU <i>et al.</i> (1984)
Seriola	ω 3 HUFA	

trucha arco iris (*Salmo gairdneri*) necesita ácidos grasos de la familia del linolénico (serie ω 3) para máximo crecimiento y conversión del pienso y ausencia de patologías (LEE *et al.*, 1967; HIGASHI *et al.*, 1964, 1966; CASTELL *et al.*, 1972a, b, c; WATANABE *et al.*, 1974a, b, c).

NICOLAIDES y WOODAL (1962) observaron inicialmente un deterioro de la pigmentación del salmón chinook alimentado con dietas deficientes en ácido linoleico (18:2 ω 6)* y ácido linolénico (18:3 ω 3)*. CASTELL *et al.* (1972) observaron que las necesidades de 18:3 ω 3 en la trucha arco iris son del 1 % de la dieta y que ninguna combinación de 18:3 ω 3 con 18:2 ω 6 produjo un crecimiento tan rápido ni un índice de conversión tan eficaz como el 1 % de 18:3 ω 3 solo en la dieta. La inclusión de 18:2 ω 6 en el pienso produjo una cierta mejora del crecimiento e índices de conversión, al compararlo con dietas deficientes en AGE, sin embargo, el ácido graso ω 6 no evitó algunos síntomas de deficiencia de AGE tales como el «síndrome de shock». Experimentos posteriores de WATANABE *et al.* (1974a, c) indicaron necesidades de linolénico de entre el 0,8 y el 1,6 % de la dieta. Los peces alimentados con dietas conteniendo menos de 0,5 % 18:3 ω 3 mostraron crecimiento lento, erosión de la aleta caudal y «síndrome de shock», causado por la irritación física de los peces (CASTELL *et al.*, 1972a). En una serie de publicaciones, los autores describieron los síntomas fisiológicos de la deficiencia de AGE (CASTELL *et al.*, 1972b) y los efectos de estas deficiencias sobre el metabolismo de los lípidos y la composición en ácidos grasos. Concluyeron que el 18:3 ω 3 tiene una función esencial en la nutrición de la trucha, similar a la asignada al linoleico en animales superiores.

Los requerimientos de AGE en la trucha arco iris, presentados por estos autores, fueron obtenidos con dietas de contenido relativamente bajo en lípidos (2-5 %). TAKEUCHI y WATANABE (1977b) investigaron si el aumento de los lípidos en la dieta aumentaría las necesidades de 18:3 ω 3 en la trucha. Observaron que tomando una dieta que contenía el 1 % de 18:3 ω 3 con un 4 % de 12:0 conseguían un buen crecimiento, como demostraron CASTELL *et al.*, y WATANABE *et al.*, mientras que la misma dieta, conteniendo

* Una designación abreviada de los ácidos grasos será utilizada a lo largo de este capítulo, donde el número de ω identifica la posición del primer doble enlace, contando a partir del extremo del grupo metilo. El ácido linoleico y el linolénico serían descritos como 18:2 ω 6 y 18:3 ω 3 respectivamente. Identificando el primer número el número de carbonos, el segundo número el número de dobles enlaces y el tercero la posición del primer doble enlace.

El nivel óptimo de ácidos grasos $\omega 3$ osciló entre el 1% y el 2.5% mientras que niveles superiores al 1% de ácidos grasos $\omega 6$ redujo el crecimiento del salmón coho (*Oncorhynchus kisutch*) (YU y SINNHUBER, 1979). TAKEUSHI y WATANABE (1980) también confirmaron que el 18:3 $\omega 3$ era eficaz en la prevención de la deficiencia de AGE en salmón coho.

KANAZAWA *et al.* (1980) examinaron recientemente las necesidades de AGE en *Tilapia zillii*, un pez tropical hervívoro, que puede vivir tanto en agua dulce como salada. En *Tilapia* se observó que los efectos estimulantes del crecimiento del 18:2 $\omega 6$ y 20:4 $\omega 6$ eran superiores a los del 18:3 $\omega 3$ y 20:5 $\omega 3$, indicando que este pez necesita ácidos grasos $\omega 6$ en vez de $\omega 3$. Los requerimientos dietarios de 18:2 $\omega 6$ ó 20:4 $\omega 6$ fueron del 1% de la dieta, aproximadamente.

Por otra parte YONE *et al.* demostraron que el 18:3 $\omega 3$ no es tan importante *per se* para la nutrición de peces marinos tales como el besugo (*Chrysophrys major*) (YONE y FUJII, 1975a, b; FUJII y YONE 1976), sargo (*Mylio macrocephalus*), *Girella nigricans* y seriola (*Seriola quinqueradiata*) (YONE, 1978), como para los peces de agua dulce.

El besugo y la seriola son peces de aguas marinas cálidas de importancia comercial, cultivados en Japón. La seriola crecía mejor, y tenía mayor número de glóbulos rojos, mayor hematocrito, más hemoglobina y mejor índice de conversión; cuando la dieta contenía aceite de pescado, como aceite de hígado de bacalao, que contiene una gran cantidad de ácidos grasos $\omega 3$ de cadena larga y alto nivel de insaturación, que con aceites vegetales, tales como aceite de maíz, altos en ácidos grasos $\omega 6$ (FURUKAWA *et al.*, 1966; TSUKAHARA *et al.*, 1967).

YONE *et al.* (1974) obtuvieron resultados similares a los de la seriola al demostrar que el besugo (*C. major*) crecía mejor con dietas que contenían aceite de hígado de bacalao que con dietas de aceite de maíz. Las necesidades de AGE no fueron satisfechas ni por 18:2 $\omega 6$ ni por 18:3 $\omega 3$ (YONE y FUJII, 1975a, b; FUJII y YONE, 1976). Además al suplementar la dieta con 18:3 $\omega 3$, a niveles superiores al 3%, se observaron hígados grasos en el besugo, contrariamente a lo ocurrido con la trucha arco iris, donde el hígado graso se producía en la ausencia de 18:3 $\omega 3$ en la dieta. Al suplementar la dieta con una mezcla de aceite de 20:5 $\omega 3$ y 22:6 $\omega 3$, preparado de aceite de hígado de sepia, se mejoraron el crecimiento y las condiciones generales de esos peces. Finalmente YONE (1978) observó que los ácidos grasos $\omega 3$ altamente insaturados, con más de 20 átomos de carbono ($\omega 3$ HUFA = ácidos grasos $\omega 3$ altamente insaturados) tenían

una función esencial en la nutrición de estos peces marinos, siendo las necesidades del besugo (*C. major*) aproximadamente de un 0,5% de la dieta para los $\omega 3$ HUFA.

Un motivo para la diferencia observada en las funciones del 18:3 $\omega 3$ entre los peces marinos y los de agua dulce, puede derivarse de los cambios en la composición de los ácidos grasos observados durante periodos largos de alimentación con dietas suplementadas con 18:3 $\omega 3$. En peces de agua dulce como trucha, carpa, anguila, ayu (*Placoglossus altivelis*), la concentración de 20:5 $\omega 3$ y 22:6 $\omega 3$ en los lípidos corporales aumentó a resultas de ser alimentados con 18:3 $\omega 3$, pero no ocurrió así en platija (*Pleuronectes platessa*) (OWEN *et al.*, 1972) y besugo (*Chrysophrys major*) (FUJII *et al.*, 1976). De estos resultados, FUJII *et al.*, presumían que los peces marinos tenían menor capacidad, para convertir el 18:3 $\omega 3$ en $\omega 3$ HUFA, que los peces de agua dulce.

El rodaballo (*Scophthalmus maximus*) también parece no poder convertir el 18:2 $\omega 6$ de la dieta en 20:4 $\omega 6$ cuando se le alimenta con aceite de maíz, o el 18:1 $\omega 9$ endógeno a 20:3 $\omega 9$ cuando recibe una dieta deficiente en AGE (COWEY *et al.*, 1976a). COWEY *et al.* (1976b), también demostraron que aunque el rodaballo parecía tener necesidades por los AGE contenidos en el aceite de hígado de bacalao, los requerimientos no eran satisfechos por el 18:3 $\omega 3$. OWEN *et al.* (1975) confirmaron, utilizando ácidos grasos marcados con C^{14} , administrados oralmente a rodaballos, que la elongación y desaturación de 18:1 $\omega 9$, 18:2 $\omega 6$ ó 18:3 $\omega 3$ C^{14} se producía limitadamente en el rodaballo (3-15%), comparado con la trucha arco iris, donde el 70% de la radioactividad de 18:3 $\omega 3$ estaba presente como 22:6 $\omega 3$. YAMADA *et al.* (1980), también confirmaron en experimentos recientes, donde el 18:3 $\omega 3$ C^{14} se administraba a besugo, sargo, mujol y trucha arco iris, que la radioactividad de la fracción del 22:6 $\omega 3$ era del 14,5% al 3,6% en la trucha arco iris y sólo del 4,8 al 0,9% en los peces de mar.

Más tarde GATESOUPPE *et al.* (1977a) observaron que el nivel de requerimientos de ácidos grasos de cadena larga en el rodaballo era, al menos, del 0,8% de la dieta. En un ensayo posterior, demostraron un crecimiento positivo del rodaballo con dietas de 18:3 $\omega 3$, aunque los ácidos grasos C_{20} y C_{22} $\omega 3$ fueron más efectivos que el 18:3 $\omega 3$ (GATESOUPPE *et al.*, 1977b).

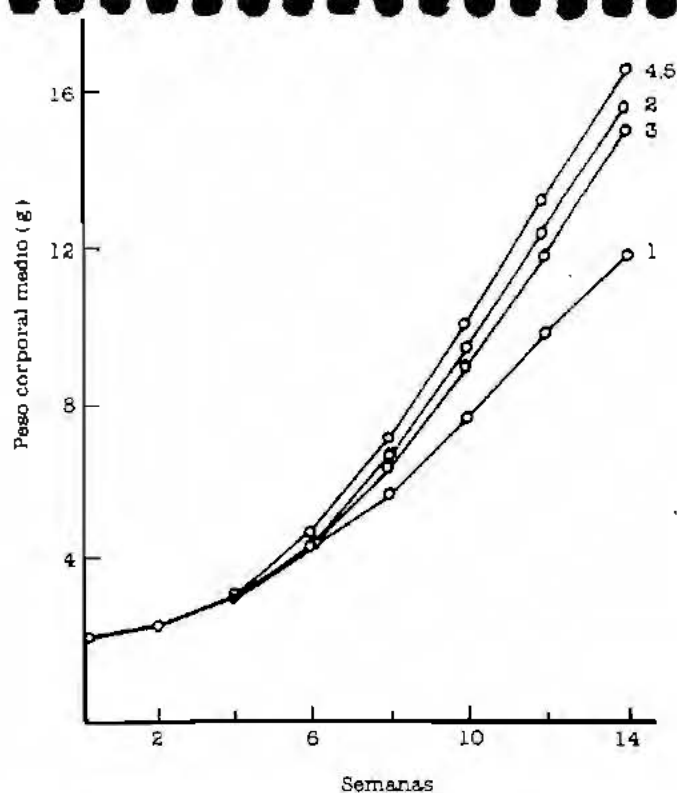


Fig. 1. Efectos dietarios de los metil ésteres de los ácidos grasos $\omega 3$ sobre la tasa de crecimiento de la trucha arco iris. Las curvas 1, 2, 3, 4 y 5 representan dietas del 4.5 % metil laureato conteniendo 0.5 % metil linolenato, 0.5 % metil eicosapentaenoato, 0.5 % metil docosahexaenoato, 0.25 % metil eicosapentaenoato, más 0.25 % metil docosahexaenoato; y 0.5 % $\omega 3$ HUFA, respectivamente

TAKEUCHI y WATANABE. Existe otro hecho apoyado por estos resultados: el que las dietas comerciales para varias clases de peces, tales como trucha arco iris, carpa, anguila, ayu fish, salmón chum y besugo, contienen lípidos en niveles del 4 al 6 % fundamentalmente derivados de la harina de pescado blanco, que se utiliza como fuente de proteína y su contenido en ácidos grasos $\omega 3$ (consistentes fundamentalmente en 20:5 $\omega 3$ y 22:6 $\omega 3$) está alrededor del 0.4-0.6 % de la dieta. Estas dietas prácticas sin embargo, siempre satisfacen las necesidades de AGE de esos peces.

WATANABE y TAKEUCHI 1976 también examinaron el efecto de los fosfolípidos sobre el crecimiento de la trucha arco iris usando lecitina, aunque no existe comparación directa con el aceite de hígado de bacalao, que sólo contenía trazas de lípidos polares. La adición de lecitina al metil-laureato al nivel de 0.01 y 0.05 % no resultó en mejora alguna de las condiciones de crecimiento. STICKENY y ANDREWS (1972) también observaron que dietas que contenían 8 % de grasa de vacuno y 2 % de lecitina producían menor crecimiento que la grasa de vacuno sola, indicando que la lecitina no aumentaba la utilización de las grasas saturadas por el pez gato, mientras que tal aumento se ha observado en mamíferos (KULINOV, 1965). En experimentos posteriores de TAKEUCHI y WATANABE (1978) se volvieron a confirmar estos resultados, utilizando lípidos extraídos de las almejas (*Tapes japonica*) que contenían 60-70 % de lípidos polares. Las fracciones triglicéridas y polar de los lípidos, que contenían cantidades suficientes de 20:5 $\omega 3$ y 22:6 $\omega 3$, tenían el mismo valor de AGE para la trucha arco iris. En contraposición, al suplementar la dieta con fosfolípidos, preparados a partir de soja, mejoró el crecimiento de los camarones (*Penaeus japonica*) (TESHIMA, 1978).

Así pues, no sólo el 18:3 $\omega 3$ sino también los otros ácidos grasos de la serie $\omega 3$, tienen un papel importante como AGE para muchos peces. En dietas prácticas para el cultivo de peces, sin embargo, el 18:3 $\omega 3$ no es muy importante, siendo utilizado fundamentalmente en dietas purificadas para investigación, pero los $\omega 3$ HUFA, tales como el 20:5 $\omega 3$ y 22:6 $\omega 3$, si son muy importantes desde el punto de vista práctico como AGE. Los últimos, se suplementan muy a menudo en las dietas de los peces, en forma de aceites pienso (aceite de hígado de bacalao), inmediatamente antes de ser administradas.

Por otra parte, los enlaces dobles interrumpidos por metileno parecen ser necesarios para la eficacia de los AGE. TAKEUCHI y WATANABE (1980) demostraron que los ácidos grasos C₂₂:2 con un doble enlace en la posición $\omega 3$, y otro en, o cerca del terminal carboxilo, no tienen valor de AGE en la trucha arco iris y salmón chum.

4. Efectos de la deficiencia de AGE sobre el desove

Los trabajos recientes de WATANABE *et al.* (1984a, b) han demostrado que la deficiencia de AGE afecta profundamente

La adición a la dieta de 18:3 ω 3, o una mezcla de ω 3 HUFA 20:5 ω 3 y 22:6 ω 3 (1:1), en cantidades que exceden cuatro veces la requerida por la trucha arco iris, provoca un mal crecimiento e índices de conversión bajos (TAKEUCHI y WATANABE, 1979) (fig. 2). Los efectos negativos del exceso de ω 3 HUFA fueron similares a los que se obtuvieron al utilizar la mitad de la cantidad de 18:3 ω 3. YU y SINNHUBER (1976) observaron que al añadir un 1 % de 18:2 ω 6 a la dieta, parecía estimularse el crecimiento de los peces; sin embargo, al aumentar el nivel hasta el 2,5 ó el 5,0 %, en las dietas de la trucha arco iris, se reduce el crecimiento. También notaron que niveles superiores al 1 % de ácidos grasos ω 6 o niveles extremadamente altos de ω 3 deprimían el crecimiento del salmón coho (YU y SINNHUBER, 1979). Deberíamos de ser muy cuidadosos con la clase y la cantidad de AGE utilizados para suplementar las dietas, ya que las necesidades de AGE cambian de acuerdo con los niveles de lípidos en la dieta y el tipo de ácidos grasos ω 3 en esos lípidos.

6. Efecto de los lípidos de la dieta sobre la composición corporal

La composición de los lípidos del cuerpo está significativamente afectada por los lípidos de la dieta, aunque la adición de lípidos de buena calidad y entre el 5 y el 25 % nunca llevó a efectos negativos en la trucha arco iris o en la carpa, si hubo un aumento notorio de la grasa visceral debido a la excesiva densidad energética de las dietas; sin embargo, el contenido graso del hígado no se ve muy afectado por los niveles de lípidos en la dieta. Esto está de acuerdo con los trabajos de OGINO *et al.* (1976) que encontraron que la composición de los lípidos del cuerpo está directamente relacionada con la dieta, en la trucha arco iris. Resultados similares han sido observados en la trucha arco iris (CASTLEDINE y BUCKLEY, 1980), platija (COWEY *et al.*, 1975), pez gato (GARLING y WILSON, 1976), carpa (TAKEUCHI y WATANABE, 1979) y rodaballo (BROMLEY, 1980).

Los lípidos de la dieta faltos de AGE o conteniendo productos de oxidación pueden, sin embargo, afectar la composición de los tejidos grasos corporales. CASTELL *et al.* (1972a) han observado un aumento del contenido de agua en los músculos de la trucha arco iris alimentada con dietas deficientes en AGE y, además, el nivel respiratorio del hígado aumentó y se redujo el contenido de hemoglobina en

salmones (TAKEUCHI *et al.*, 1974) con el resultado que el cuerpo entero, músculo y vísceras completas, de peces alimentados con dietas deficientes en AGE, contenían considerablemente más agua y menos proteína y lípidos. El contenido de lípidos en el hígado era también alto, indicando un síntoma de hígado graso. Es característico como el hígado de los salmonidos refleja inmediatamente la deficiencia de AGE. El salmón chum también presentó un hígado inflamado y pálido con alto contenido en lípidos bajo una deficiencia de AGE. (TAKEUCHI *et al.*, 1979b).

Por otra parte, las dietas deficientes en AGE provocan una reducción del contenido lipídico en el hepatopáncreas de la carpa (TAKEUCHI y WATANABE, 1977a). Estos cambios en el contenido lipídico de los peces, se deben a los lípidos neutros; el contenido de lípidos polares se mantuvo, en los tejidos, a nivel casi constante, no siendo afectado por la deficiencia de AGE, y el nivel de lípidos no polares del hígado aumentó por ácidos grasos no esenciales de la dieta, tales como 12:0 y 16:0 (WATANABE y TAKEUCHI, 1976). La acumulación de lípidos en los hígados de los animales deficientes en AGE podría ser debida a alteraciones en la biosíntesis de lipoproteínas (FUKUZAWA *et al.*, 1970, 1971). Un nivel del 4 % de 18:3 ω 3 en la dieta del besugo provoca una degeneración grasa del hígado (FUJII *et al.*, 1976; FUJII y YONE, 1976) bien diferente al caso de la trucha arco iris, donde el hígado graso se evita con la adición de 18:3 ω 3, y del rodaballo (LEGER *et al.*, 1979) donde un nivel alto de 18:3 ω 3, en la dieta (3,7 % de la dieta total) produce un mejor crecimiento. El índice hepatosomático y el contenido lipídico de la trucha arco iris se redujo con cantidades excesivas de AGE, efectos opuestos a los que se dan en peces deficientes en AGE (TAKEUCHI y WATANABE, 1979).

La composición de los lípidos corporales está claramente reflejada por los lípidos de la dieta. Los peces pueden alterar la proporción de ω 6/ ω 3 de la dieta en favor de la incorporación a los tejidos corporales de los ácidos grasos ω 3 (SINNHUBER, 1969), aunque la influencia de los lípidos de la dieta sobre la composición de los ácidos grasos del cuerpo es diferente entre los triglicéridos y los fosfolípidos. Los lípidos de la dieta afectan la composición de los ácidos grasos de los fosfolípidos en mayor grado que la de los lípidos neutros. En los peces de agua dulce, el 18:2 ω 6 y el 18:3 ω 3 de la dieta son elongados y desaturados, siendo el primero convertido en 20:4 ω 6 y 22:5 ω 6 y el último en 22:6 ω 3, en la fracción fosfolipídica de los peces, mientras que en la fracción triglicérida estos ácidos grasos son depositados sin alteración, aumentando la concentración de 18:2 ω 6 y 18:3 ω 3 (TAKEUCHI y WATANABE, 1977a; FARKAS *et al.*,

valores bajos, incluso en los grupos de bajo crecimiento que recibían dietas con un 1 % de linolenato junto a 9 % ó 14 % de laureato. Esto sugiere que es imposible decidir a partir del índice de AGE solamente, si un pez recibe o no una cantidad adecuada de AGE para maximizar el crecimiento.

TAKEUCHI y WATANABE (1976) demostraron que no sólo el laureato se depositaba sin alterar, sino también el palmitato y que no ejercía cambios apreciables en la composición de los ácidos grasos de la trucha arco iris, cuando se utilizaban como parte de la fuente de lípidos, con una cantidad moderada de ácidos grasos $\omega 3$. Es interesante resaltar que los ácidos grasos saturados de los lípidos corporales de los peces, se mantenían bastante constantes, aproximadamente el 24 % del total, independientemente del alto contenido dietario en ácidos grasos saturados (YU *et al.*, 1977a). STICKNEY y ANDREWS (1971) presentaron resultados similares en sus experimentos de nutrición con el pez gato. Un grupo de peces gato fue alimentado con una dieta que contenía el 10 % de sebo (41 % saturado) y otro grupo recibió una dieta que contenía el 10 % de aceite de chupeidos (25 % saturado). Después de 10 semanas, con agua a una temperatura de 20 °C, el contenido de ácidos grasos saturados de los dos grupos de peces se mantuvo al mismo nivel del 20 % de los lípidos corporales.

Parece ser que existe un nivel óptimo de insaturación si se quiere obtener una máxima velocidad de crecimiento. El exceso de ácidos grasos $\omega 3$ y $\omega 6$ presenta una condición no natural o inusual que obliga al animal a responder metabólicamente y a adaptarse a esta situación anormal (YU y SINNHUBER, 1976). TAKEUCHI y WATANABE (1976), también notaron que el porcentaje total de ácidos grasos $\omega 3$ en lípidos polares del hígado aumentó al aumentar los ácidos grasos $\omega 3$ de la dieta y parecía tener un nivel máximo al 40 % aproximadamente. Puede existir un mecanismo en los peces para regular y mantener el nivel adecuado de saturación de los lípidos en el cuerpo. Es razonable considerar que la proporción de ácidos grasos insaturados a saturados refleja ampliamente el equilibrio de los sistemas de enzimas que producen esos ácidos grasos. (v.g., sintetasa de ácidos grasos y varias desaturasas y elongasas) (FARKAS *et al.*, 1980).

El balance de insaturados/saturados se ha demostrado que depende también de la temperatura ambiental. (ROOTS, 1968; KNIPPRATH y MEAD, 1966a, b; KEMP y SMITH, 1970; LEGER *et al.*, 1977; FARKAS *et al.*, 1980).

7. Valor energético de los lípidos de la dieta

Los lípidos desarrollan un papel importante como fuente de energía, además de como fuente de AGE, en las dietas de los peces comerciales, especialmente de los carnívoros, en los cuales la utilización de los hidratos de carbono como fuente de energía es muy baja. Es conocido que los peces necesitan más proteína en su dieta que las aves y los mamíferos (COWEY y SARGENT, 1972). Esto se debe, probablemente, al hecho de que la mayoría de las especies de peces son carnívoras y necesitan dietas ricas en proteína, dada su mala utilización de los hidratos de carbono. La adición de lípidos a una dieta, con AGE como fuente de energía, contribuye a una mejor utilización de la proteína, (tabla 3).

Investigaciones recientes sobre los requerimientos de proteína de los peces, han demostrado que los requerimientos de la trucha y la carpa son casi iguales a los del cerdo y menores que los del pollo de engorde, cuando la energía digestible, sin contar la de la proteína, es suficiente (OGINO, 1980). Esto es debido, sobre todo, al hecho de que la tasa de alimentación de los peces es significativamente menor que la de los mamíferos, debido a su poiquiloterмия y a que las necesidades de proteína varían de acuerdo con la tasa de alimentación.

El efecto principal del ahorro de proteína, por los lípidos de la dieta, es el de reemplazar una fracción de proteína que de otra forma habría de ser catabolizada y utilizada tanto como energía, como para sintetizar lípidos. El ahorro de proteína dietaria ha sido investigado intensamente en varias especies de peces (LEE y PUTNAM, 1973; PAGE y ANDREWS, 1973; TAKEDA *et al.*, 1975; ADRON *et al.*, 1976; TAKEUCHI *et al.*, 1978a, b, c, 1979a; SHIMENO *et al.*, 1980; BROMLEY, 1980). TAKEUCHI *et al.* (1978b) demostraron la proporción óptima de proteína y lípidos en la dieta de la trucha arco iris, dándole de comer varias dietas que contenían cantidades diferentes de lípidos (5-20 %), para niveles diferentes de proteína (16-48 %). La proporción óptima de proteína: lípidos, es de 35 % : 15-20 % y a esos niveles de lípidos, la proteína de la dieta puede ser reducida del 48 % al 35 %, sin pérdida de ganancia de peso. También determinaron la proporción óptima de energía: proteína en la dieta (Kcal ED/% proteína) usando dietas con varios niveles de lípidos (5-25 %), a un nivel de proteína fijo en el 35 % (TAKEUCHI *et al.*, 1978c). Con un aumento de los lípidos de la dieta, tanto los valores de PER, como los de NPU aumentaron, dando una retención máxima de proteína, con las mejores ganancias de peso, en los peces alimentados con

necesario reducir todo lo posible el contenido de harina de pescado en los piensos para peces.

8. Nivel de lípidos en la dieta y requerimientos de α -tocoferol

Altas ingestas de lípidos conteniendo ácidos grasos poliinsaturados, aumentan las necesidades de vitamina E en el animal; aunque la adición de lípidos a la dieta sea efectiva mejorando la utilización de la proteína de la dieta. Una relación entre las necesidades de α -tocoferol y el contenido en ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) de la dieta, ha sido observada por muchos investigadores. Una relación directa entre la ingesta de vitamina E y de PUFA, en el hombre, ha sido postulada por HORWITT (1961, 1962), quien observó que un nivel elevado de linoleato en la dieta aumentaba los requerimientos de α -tocoferol. HAYES *et al.* (1969), también observaron, en perros, que aunque las necesidades de tocoferol estaban directamente relacionadas con el consumo de PUFA, no se debían a la función de antioxidante de la vitamina, sino al metabolismo de las grasas.

Por otra parte ALFIN-SLATER *et al.* (1972) no observaron evidencia de una deficiencia de α -tocoferol, o de un aumento de las necesidades de α -tocoferol, cuando un aceite vegetal rico en poliinsaturados, era añadido en la dieta a un nivel del 30 %, sin una fuente suplementaria de vitamina E.

Sin embargo hay pocos datos de estas relaciones en los peces. WATANABE *et al.* (1977), investigaron si existía un aumento de las necesidades de α -tocoferol en la dieta de la carpa, al aumentar la insaturación de la grasa de la dieta. En sus experimentos, la distrofia muscular aparente, la llamada «enfermedad de Sekoke», que se caracteriza por una notoria pérdida de carne en el dorso, que se sabe está inducida por la ausencia de α -tocoferol (WATANABE *et al.*, 1970a), o por la oxidación de lípidos (HASHIMOTO *et al.*, 1966; WATANABE *et al.*, 1967, 1968), fue utilizada como un índice de las necesidades de α -tocoferol. Demostraron que un alto nivel de linoleato aumenta las necesidades de α -tocoferol en la carpa, a juzgar por la aparición de la distrofia muscular aparente. También confirmaron, en carpas alimentadas con dietas que contenían 15-20 % de aceite de hígado de bacalao (WATANABE *et al.*, 1981a), el aumento de las necesidades de α -tocoferol. Las necesidades de α -tocoferol en la trucha arco iris, bastante inferiores a las de la carpa (resultados no publicados), también fueron afectadas por el contenido de lípidos del pienso (WATANABE *et al.*, 1981a, b). Al alimentar truchas arco iris, de 0,9 g de peso, con una dieta deficiente

en α -tocoferol, que contenía un 1,5 % de metilésteres de aceite de hígado de bacalao, y que habían sido mantenidas en una dieta libre de α -tocoferol durante dos semanas antes de la prueba, se obtuvo un crecimiento lento, baja conversión del alimento y alta mortalidad, junto con convulsiones. Todas estas consecuencias se evitaban al añadir 5 mg de α -tocoferol a la dieta.

9. Oxidación de lípidos en las dietas de los peces

Los lípidos marinos, altos en ácidos grasos poliinsaturados, especialmente ácidos grasos ω 3, proveen AGE que permiten buen crecimiento y una buena fuente de energía, que permiten la acción de ahorro de proteína dietaria. Sin embargo, se sabe que esos lípidos son bastante susceptibles de auto oxidación, al estar expuestos al oxígeno de la atmósfera. Si no se cuida la preparación y el almacenamiento de los piensos, el positivo valor nutritivo de los ácidos grasos ω 3 de los lípidos de los peces, se convierte en un factor negativo para ellos.

Los productos de la oxidación de los lípidos pueden reaccionar con otros nutrientes tales como proteínas, vitaminas, etc., y reducir el valor dietético de los lípidos o producir efectos negativos en los peces. El efecto de los lípidos oxidados sobre las proteínas del pienso, enzimas y aminoácidos ha sido demostrado por ROUBAL y TAPPEL (1966), OPSTVEDT (1974) y KO *et al.* (1975). NJAA *et al.* (1966) observaron que la oxidación de los lípidos en la harina de arenque, tenía un mayor efecto sobre la digestibilidad que sobre los valores de NPU. OPSTVEDT (1975) también confirmó que la oxidación de los lípidos reduce el valor energético de la harina de pescado y probablemente cause una reducción de la calidad protéica de la harina.

Los lípidos oxidados son bien conocidos por su toxicidad, en varias especies de peces. HASHIMOTO *et al.* (1966) demostraron que la enfermedad de la carpa llamada «enfermedad de Sekoke», histológicamente una distrofia muscular, que es un grave problema para los criadores de carpas en el Japón, era inducida por los lípidos de las larvas de gusanos de seda secas, que se usaban como principal ingrediente del pienso. Observaron que la enfermedad se evitaba eficazmente al añadir DL- α -tocoferol acetato (50 mg/100 g de dieta), pero no con antioxidantes tales como azul de metileno, BHA, etilgalato, DPPD o etoxiquina (WATANABE *et al.*, 1966, 1967). SINNHUBER *et al.* (1968) de igual manera probaron que la adición de vitamina E podía

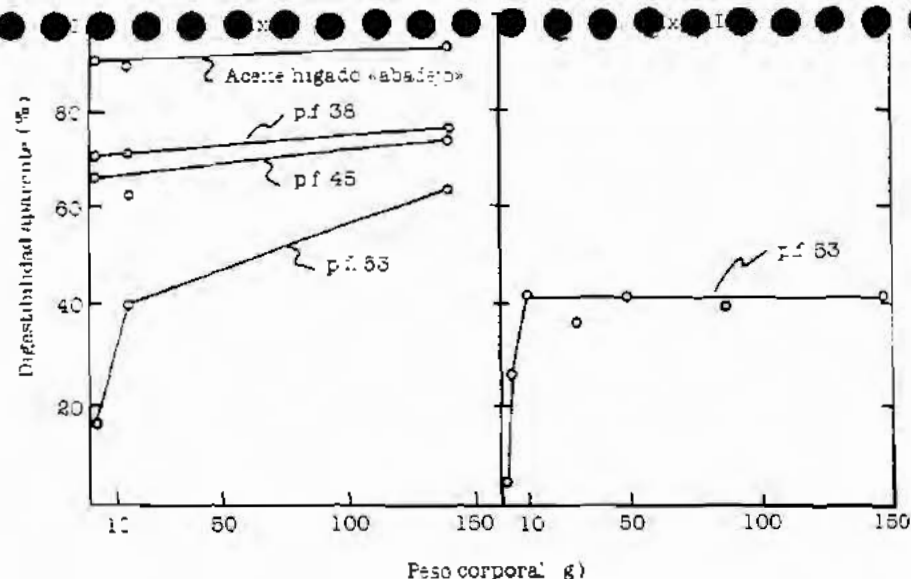


Fig. 3. Relación entre tamaño de los peces y digestibilidad aparente de aceites de pescado hidrogenados, con puntos de fusión (p.f.) diferentes, en la carpa.

aproximadamente del 20 % de 18:3 ω 3 ó 10 % de ω 3 PUFA, la proteína será ahorrada cuando las dietas contengan el 15 % de la materia seca como grasa animal o aceites de pescado hidrogenados, con puntos de fusión inferiores a los 40 °C y otro 3 % de la materia seca, en la forma de lípidos de alta calidad, capaces de satisfacer las necesidades de AGE. TAKEUCHI *et al.* (1978d, 1979d, 1980) llevaron a cabo un experimento de alimentación a largo plazo (3 años), a escala relativamente grande, para determinar si la dieta de proteína baja (35 %) con alto valor energético (18 % de lípidos totales, conteniendo como fuente principal sebo de vacuno y una fuente de ω 3 HUFA al 10 % de los lípidos de la dieta) era efectiva para el crecimiento normal de la trucha en cada estadio de su desarrollo, v.g., alevines, peces adultos y productores en desove. Observaron que la dieta baja en proteína, con alta densidad energética, es utilizable en todos los estadios del desarrollo de la trucha arco iris y que las necesidades de AGE no cambian durante esas etapas. Además, los huevos producidos por el desove de los peces adultos, dieron buenos resultados de fertilidad, con alta tasa de nacimientos, comparables a los de las dietas comerciales que contenían un 45 % de proteína.

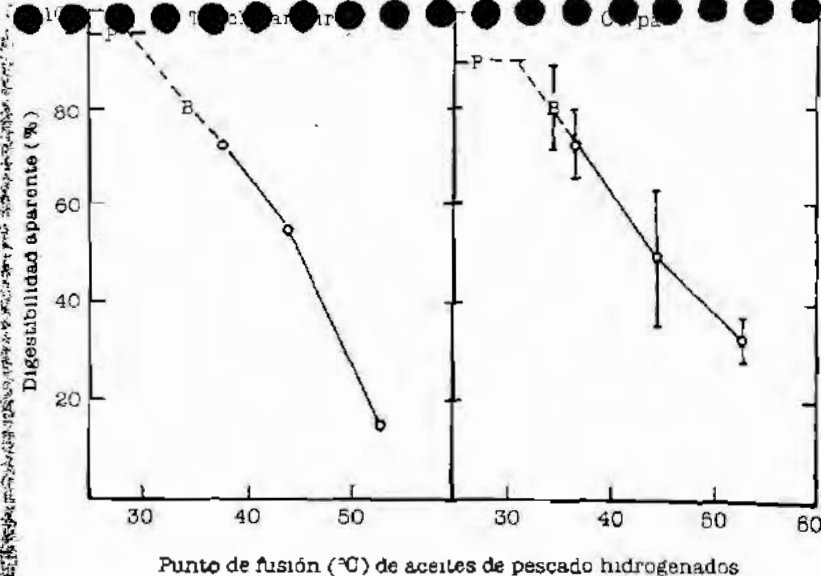


Fig. 4. Relación entre los puntos de fusión de aceites de pescado hidrogenados y su digestibilidad aparente en la trucha arco iris y la carpa. Las letras P y B en los gráficos indican los obtenidos con aceite de hígado de «pollock» (P) y sebo de vacuno (B). Las medias $\pm$ SD de la figura de la derecha, fueron calculadas a partir de los valores determinados a diferentes temperaturas del agua.

11. Valor nutritivo de los piensos vivos para peces desde el punto de vista de los ácidos grasos

Rotíferos

La relación entre la calidad nutricional de los rotíferos como pienso vivo y su organismo de cultivo, v.g., levadura de pan o *Chlorella*, fue investigado desde el punto de vista de los AGE de los peces (WATANABE *et al.*, 1978b). La tabla 4 muestra la distribución de ácidos grasos en los rotíferos cultivados con levadura de pan, *Chlorella* marina o ambos organismos, durante 1975 a 1977, en el Nagasaki Prefectural Institute of Aquaculture. Se observó la misma tendencia en la distribución de los ácidos grasos de los rotíferos cada año. La diferencia más sorprendente fue el contenido de AGE. Los rotíferos cultivados con levadura tenían bastante pocos ω 3 HUFA, tales como 20:5 ω 3, y alto contenido de ácidos grasos monoenoicos, tales como 16:1 y

marina, la levadura de agua dulce, como la de cultivo, como organismo de cultivo de los rotíferos que han de servir como pienso vivo para la producción de peces marinos jóvenes (WATANABE *et al.*, 1978b). Estas diferencias en la concentración de 20:5 ω 3, un AGE para los peces de mar, también fueron atribuidas a la diferente composición de ácidos grasos en la levadura y en la *Chlorella* marina y de agua dulce (WATANABE, 1978b).

Las tablas 6 y 7 presentan listados de la composición de ácidos grasos de los lípidos totales de los organismos de cultivo. La levadura de pan utilizada para el cultivo masivo de los rotíferos se distribuye comercialmente por tres compañías en Japón. Cada levadura muestra una

TABLA 6
Algunos ácidos grasos de los lípidos totales de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

Acido graso	Kaneka		Kyowa	Oriental
	1975	1977	1977	1977
14:0	0.3	2.2	1.1	3.1
16:0	8.3	16.8	11.2	20.0
16:1 ω 7	38.2	32.8	14.2	27.2
18:0	4.1	3.4	8.4	4.7
18:1 ω 9	43.9	28.5	38.0	26.1
18:2 ω 6	2.8	7.6	15.1	10.9
18:3 ω 3	0.5	1.8	6.4	3.2
20:1	0.2	tr	1.6	0.8

distribución de ácidos grasos muy parecida y simple. Contienen un nivel bastante alto (52-58 %) de ácidos grasos monoetilénicos, 16:1 y 18:1 y ningún ω 3 HUFA. Por otra parte la *Chlorella* marina contenía un alto nivel de 20:5 ω 3. Estos resultados sugieren el por qué los rotíferos cultivados con levadura siempre contienen pocos ω 3 HUFA, mientras que los criados con *Chlorella* siempre contienen altos niveles de ω 3 HUFA. Por otra parte, la composición de ácidos grasos de la *Chlorella* de agua dulce es bastante diferente de la de mar. La *Chlorella* de agua dulce contenía grandes cantidades de 18:2 ω 6 y 18:3 ω 3 pero tenía pocos ω 3 HUFA (tabla 8). Consecuentemente los rotíferos cultivados con *Chlorella* de agua dulce tenían altos niveles de 18:2 ω 6 y 18:3 ω 3, siendo afectados directamente por los ácidos grasos de la *Chlorella*. Inicialmente se postuló que el 18:3 ω 3 contenido en la *Chlorella* de agua dulce se convertía en 20:5 ω 3 en los rotíferos, como se ha observado en los peces de agua dulce (CASTELL *et al.*, 1972b; WATANABE *et al.*, 1974b).

TABLA 7
Algunos ácidos grasos de los lípidos totales de la *Chlorella* marina.

Acido graso	Nagasaki		Yamaguchi		Hiroshima		Kumamoto	
	<i>Chlorella minutissima</i>		<i>Chlorella vulgaris</i>		<i>Chlorella</i> sp.		<i>Nannochloris</i> coccoides	
	Sept. 1977	Mayo 1978	Sept. 1977	Jul. 1980				
14:0	4.8	4.3	4.8	6.9	5.2	5.2	5.6	5.6
16:0	26.1	22.5	20.2	20.6	19.7	19.7	11.1	11.1
16:1 ω 7	26.3	22.3	29.5	30.7	30.3	30.3	26.2	26.2
18:0	1.1	1.0	tr	0.1	0.7	0.7	0.1	0.1
18:1 ω 9	6.2	3.1	8.6	2.5	2.7	2.7	3.5	3.5
18:2 ω 6	2.3	3.4	4.1	3.6	2.4	2.4	2.5	2.5
18:3 ω 3	0.2	0.1	tr	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1
20:1	0.1	0.1	—	0.1	—	—	tr	tr
20:3 ω 3	—	4.7	2.4	2.9	3.6	3.6	4.9	4.9
20:4 ω 6	—	0.1	—	—	—	—	tr	tr
20:5 ω 3	24.8	31.8	26.6	27.3	27.8	27.8	37.8	37.8
22:5 ω 3	—	—	—	—	1.7	1.7	—	—
22:6 ω 3	—	—	—	—	0.3	0.3	—	—

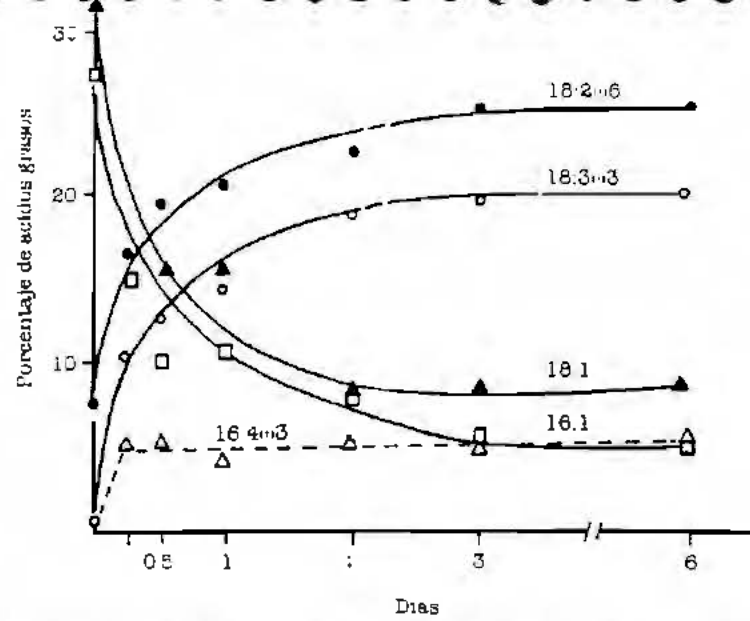


Fig. 6. Cambios en la distribución de ácidos grasos de los lípidos totales del rotífero *Brachionus plicatilis*, debidos al cultivo secundario con *Chlorella* viva de agua dulce, *Chlorella regularis*, entre 10 minutos y 7 días. Reproducido con el permiso del Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.; WATANABE et al., 1979.

comparable al de las larvas que fueron alimentadas con rotíferos criados con *Chlorella*. Por otra parte, el valor nutritivo de los rotíferos cultivados con levadura no mejoró mucho con el cultivo secundario de *Chlorella* de agua dulce. La *Chlorella* comercial de agua dulce, secada por spray, fue un alimento adecuado para los rotíferos (HIRAYAMA y NAKAMURA, 1976). Sin embargo, estos resultados indican que la *Chlorella* marina debería ser utilizada como organismo de cultivo para los rotíferos que han de servir de alimento a las larvas de peces. También indican estos resultados que el contenido de $\omega 3$ HUFA de los rotíferos, es un factor vital en su valor nutritivo como pienso vivo, y que la mortalidad alta observada en varias clases de larvas de peces que recibían rotíferos cultivados en levadura, como único pienso, se debe a una deficiencia de AGE en estos peces.

Basado en estos resultados, se ha desarrollado un tipo nuevo de levadura para el cultivo de rotíferos, al objeto de mejorar su valor nutritivo, y servir de alimento a las larvas de peces (IMADA et al., 1979). Este nuevo tipo de levadura (designado como ω -levadura), se produjo al añadir aceite de pescado o aceite de jibia, como suplemento, al medio de

TABLA 9

Efecto del cultivo secundario con *Chlorella* marina, *Chlorella minutissima*, sobre el valor dietético de las larvas de rotíferos cultivados con levadura de panadería, para el besugo (*C. major*).

Pienso vivo	Número de peces	Longitud total corporal al final del periodo de alimentación (mm)	Tasa de supervivencia (%)	Test de actividad de supervivencia (%)
Experimento I				
Y-rotífero	23000	5.38 $\pm$ 0.53	20.2	9.2 ¹
Y 10m C	23000	6.18 $\pm$ 0.49	58.7	54.3
Y 30m C	23000	7.69 $\pm$ 0.61	71.7	67.8
Y 60m C	23000	7.79 $\pm$ 0.76	76.1	60.7
Y 4h C	23000	8.01 $\pm$ 0.54	66.4	94.3
C-rotífero	23000	8.76 $\pm$ 0.55	79.8	99.6
Experimento II				
Y-rotífero	24000	4.56 $\pm$ 0.30	22.1	45.6 ²
Y 2h C	24000	5.98 $\pm$ 0.52	49.5	79.2
Y 6h C	24000	6.31 $\pm$ 0.54	50.9	90.7
Y 6h DC	24000	5.03 $\pm$ 0.45	50.8	82.4
Y 12h C	24000	6.76 $\pm$ 0.38	49.6	87.9
Y 24h C	24000	7.03 $\pm$ 0.81	60.4	96.1
C-rotífero	24000	7.15 $\pm$ 0.52	58.1	92.7

¹ Tasa de supervivencia durante las 24 horas posteriores al final del experimento de alimentación, cuando los peces fueron trasladados a otro acuario.

² Tasa de supervivencia durante 24 horas, después de que 500 peces fuesen sacados del agua con una red por 5 y trasladado a otro acuario de 30 litros.

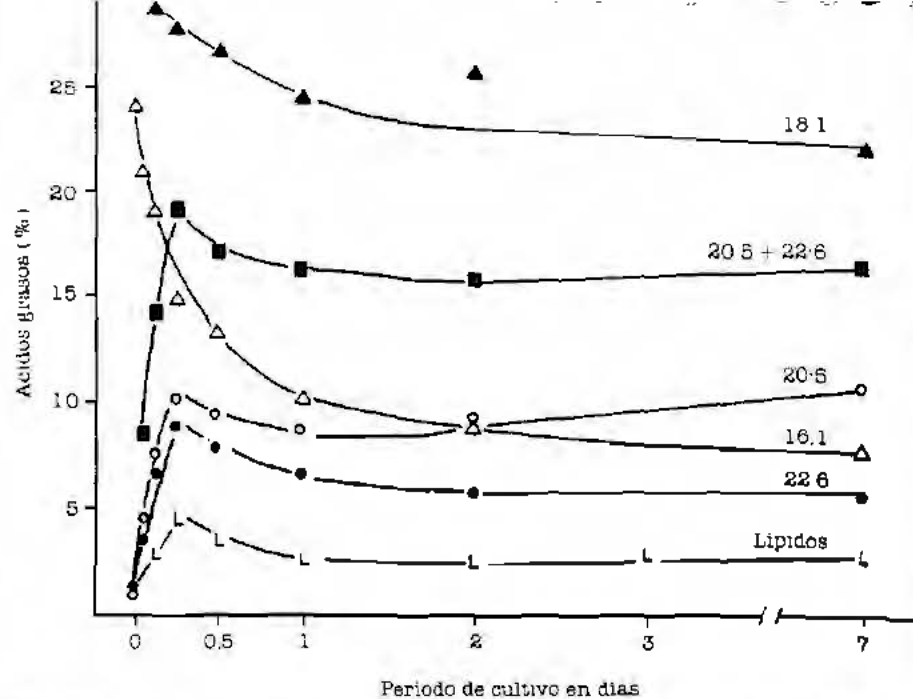


Fig. 7. Cambios en la distribución de los ácidos grasos de los lípidos totales del rotífero, *Brachionus plicatilis*, cultivado con levadura de panadería resultante de un cultivo secundario con ω -levadura.

Lípidos que contenían ω 3 HUFA, fueron homogeneizados con una cantidad pequeña de yema de huevo cruda y agua, y la emulsión resultante se dio de comer directamente a los rotíferos junto con la levadura de pan (fig. 8). Como se puede observar en la fig. 9, los rotíferos tomaron los lípidos muy fácilmente y la concentración de ω 3 HUFA alcanzó el nivel máximo entre las 6 y 12 horas posteriores a ser alimentados, como se observó en el método indirecto. Tanto el método directo como el indirecto, son muy eficaces para mejorar el valor nutritivo de los piensos vivos. Utilizando los dos métodos, fue posible mejorar más aún el valor nutritivo de los piensos vivos, permitiéndoles tomar del medio de cultivo no solamente ω 3 HUFA, sino también vitaminas liposolubles junto a los lípidos (WATANABE *et al.*, 1982).

Artemia

Los nauplios de la *Artemia salina* han sido utilizados ampliamente como alimento en la producción de peces

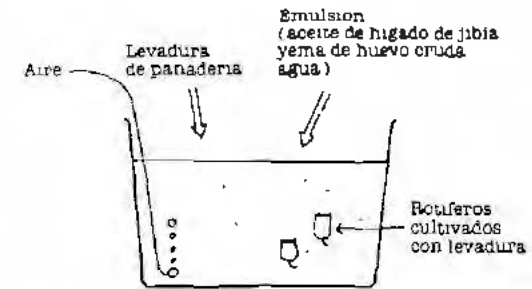


Fig. 8. Método directo para mejorar el valor dietario del alimento vivo.

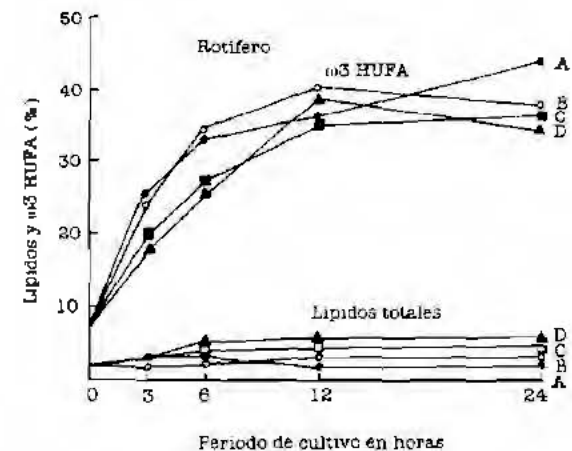


Fig. 9. Incorporación de lípidos emulsionados con varios tipos de sustancias (A, B, C y D) en rotíferos, por el método directo. Reproducción autorizada por Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., WATANABE *et al.*, 1983.

TABLA 13

Algunos ácidos grasos de los lípidos totales de los huevos de *Artemia* procedentes de Brasil y Australia en 1980.

Acido graso	Brasil							Australia
	A	B	C	D	E	E ¹	F	
14:0	3,3	3,4	2,1	3,6	2,4	1,7	2,0	1,6
16:0	16,0	18,2	13,7	18,0	14,7	12,2	13,7	13,9
16:1 ¹ 7 ²	18,6	14,4	13,8	14,6	14,7	12,8	14,1	9,9
18:0	1,9	2,9	3,2	2,8	2,7	4,1	2,6	2,8
18:1 ¹ 9 ²	21,8	23,7	28,9	16,2	26,6	30,7	28,3	33,3
18:2 ¹ 6	7,2	6,4	8,5	3,1	7,7	9,3	11,8	5,2
18:3 ¹ 6	1,9	3,2	0,8	5,1	—	—	—	0,1
18:3 ¹ 3	3,3	1,1	3,2	0,9	3,0	3,3	2,7	10,1
18:4 ¹ 3	0,3	tr	0,8	tr	0,7	0,4	0,9	3,8
20:1	0,9	1,2	0,4	1,9	0,5	0,5	0,3	0,4
20:2 ¹ 6	0,5	0,3	0,1	0,2	0,1	—	—	0,2
20:4 ¹ 6	2,7	3,2	4,5	3,2	4,0	4,6	3,6	1,1
20:4 ¹ 3	0,1	tr	0,4	tr	0,3	0,4	0,2	1,0
20:5 ¹ 3	3,9	3,5	5,9	4,6	5,8	6,5	5,8	8,6
22:1	0,7	1,0	0,4	1,8	0,5	—	—	tr
22:4 ¹ 6	0,4	0,5	0,1	0,9	—	—	—	tr
22:6 ¹ 3	0,4	0,6	tr	1,6	0,1	—	0,2	0,2
Σω3 HUFA ³	4,4	4,1	6,3	6,2	7,2	6,9	6,2	9,8
% lípidos	—	—	5,4	—	—	—	—	7,9

¹ Nauplios de huevos E.² Se incluyen pequeñas cantidades de otros monoenoos.³ 20:3 < ácidos grasos ω3.

TABLA 14

Algunos ácidos grasos de los lípidos totales de huevos de *Artemia* procedentes de Tien-tsin, durante el periodo 1979 a 1981.

Acido graso	1979					1980			1981
	A ¹	B ¹	A	B	C	A	B	C	A
14:0	0,9	0,8	3,0	2,8	2,0	5,0	5,5	2,1	2,0
16:0	9,7	9,3	12,1	12,7	12,7	23,0	21,2	12,5	13,1
16:1 ¹ 7 ²	13,6	13,4	22,6	24,0	22,4	24,7	22,8	20,1	19,1
18:0	6,0	6,0	3,5	2,9	3,3	4,4	3,8	3,2	3,3
18:1 ¹ 9 ²	33,5	33,8	26,2	20,2	26,3	22,1	17,4	24,9	25,3
18:2 ¹ 6	4,4	4,4	4,1	3,8	4,3	1,6	2,2	4,2	5,0
18:3 ¹ 6	5,3	5,1	5,5	6,0	5,1	0,4	0,6	6,4	6,6
18:4 ¹ 3	0,6	0,6	0,9	1,0	0,7	0,4	0,9	1,0	1,3
20:1	0,7	0,7	0,2	0,4	—	1,7	1,9	0,4	0,4
20:4 ¹ 6	2,8	3,0	1,2	1,1	1,5	0,8	0,7	1,8	1,4
20:4 ¹ 3	0,7	0,7	—	—	—	—	—	0,2	0,1
20:5 ¹ 3	13,0	13,2	9,2	10,2	11,3	1,9	1,3	10,9	9,3
22:1	—	—	—	—	—	0,6	0,6	tr	0,7
22:6 ¹ 3	—	—	—	—	—	0,2	0,3	tr	—
Σω3 HUFA	13,7	13,9	9,2	10,2	11,3	2,1	2,2	11,1	9,4
% lípidos	4,2	4,4	3,7	3,9	5,2	—	—	9,3	2,5

¹ Nauplios de huevos A y B² Se incluyen pequeñas cantidades de otros monoenoos.

TABLA 17

Mejora del valor dietético de *Artemia* para el besugo (C. mayor) por el método directo (Expt. III)¹.

Alimento dado a Artemia	ω3 HUFA en Artemia (%)	Longitud total ² corporal (mm)		Peso medio ² corporal (mg)		Tasa de super- pervivencia (%)	Test de actividad Pez normal (%)
		Inicial	Final	Inicial	Final		
Levadura	0,12	14,7	22,0	35,2	151,9	58,9	23,0
Aceite de maíz	0,03	14,7	22,6	35,2	158,0	52,3	31,5
Aceite de hígado de abadejo	0,31	14,7	23,7	35,2	168,9	76,3	86,5
Aceite de hígado de jibia	0,77	14,7	23,6	35,2	182,5	83,1	99,6
Metil ω3 HUFA	0,71	14,7	23,4	35,2	178,7	72,0	99,3
<i>Tigriopus</i>	0,50	14,7	22,6	35,2	181,0	89,1	100,0

¹ El periodo de alimentación fue de 9 días² Valores medios de 50 peces.

TABLA 18

Algunos ácidos grasos de *Tigriopus* cultivado con *Chlorella marina* (*Chlorella minutissima*), torta de salsa de soja, levadura de cerveza/pan (*Saccharomyces cerevisiae*) y la levadura suplementada con aceite de hígado de jibia (S levadura), respectivamente.

Acido graso	Cultivado bajo condiciones naturales Nov.-Feb 1975-1976	<i>Trigriopus Japonicus</i> cultivado con:									
		Levadura			Levadura + Chlorella			Levadura + Dieta formulada para langostinos Nov. 1977	S-Levadura	Salsa de soja	
		Dec.	Nov.	1977 ¹	Jun.	1976 ²	Nov.		Nov.	Dic.	Nov.
		1976	I	II	I	II	1977		1977	1976	1977
14:4	1,7	1,2	1,1	1,5	0,9	1,1	1,4	1,3	2,4	0,5	0,9
14:1	0,2	4,5	5,0	6,5	3,9	3,5	6,6	5,1	2,0	2,3	2,9
15:0	2,1	2,0	2,2	1,6	2,0	1,9	3,0	2,2	1,5	1,3	1,5
16:0	14,0	10,4	8,5	13,3	10,5	10,6	10,3	11,5	12,1	20,1	15,5
16:1ω7	6,3	10,9	14,2	11,1	11,5	10,7	10,9	8,7	8,1	5,1	4,7
18:0	2,3	6,0	5,0	4,6	4,5	3,8	3,1	3,1	3,6	4,3	3,6
18:1ω9 ³	20,1	11,2	23,0	15,3	19,4	16,6	16,6	20,1	21,3	15,0	19,5
18:2ω6	2,5	3,6	2,1	2,7	3,5	3,8	3,1	5,2	1,7	7,0	18,1
18:3ω3	8,2	6,0	1,8	5,5	6,1	7,8	7,4	6,1	1,3	1,8	2,7
18:4ω3											
20:0	3,2	1,9	1,2	4,3	2,0	2,2	3,7	1,4	0,8	2,0	0,4
20:1	1,0	2,1	1,3	0,9	1,8	1,0	0,4	1,1	4,8	0,5	0,6
20:3ω3											
20:4ω6	1,7	2,1	1,3	0,7	2,0	2,5	1,4	1,8	2,6	1,6	2,2
20:4ω3	2,5	2,5	1,2	1,3	2,9	3,1	1,3	2,2	1,0	1,0	1,2
20:5ω3	8,2	7,2	5,7	4,2	5,8	5,9	6,8	6,8	10,8	9,3	4,7
22:5ω3	0,7	1,6	0,5	0,5	2,0	2,2	0,6	0,6	1,2	0,5	0,6
22:6ω3	6,5	12,0	10,0	8,5	9,6	9,7	6,4	7,8	13,6	16,7	7,7
Σω3 HUFA	17,9	23,3	17,4	14,8	20,3	20,9	15,1	17,4	26,6	27,5	14,1
% lípidos	2,6	3,2	2,2	2,4	3,6	2,8	3,1	2,6	2,6	1,7	3,4

¹ *Tigriopus* cultivados en tanques de una (I) ó 200 (II) toneladas.² El cultivo se llevó a cabo por duplicado en tanques de 200 toneladas (I y II).³ Se incluyen pequeñas cantidades de otros monoenoos.

Reproducida con el permiso del Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.; WATANABE et al., 1978e.

de maíz, que contenían pocos $\omega 3$ HUFA, era muy bajo para los peces. Aunque parece que cualquier tipo de *Artemia* puede ser satisfactoria para alimentar a los peces de agua dulce, a juzgar por sus necesidades de AGE (CASTELL *et al.*, 1972a; WATANABE *et al.*, 1974a, b, 1975b; TAKEUCHI, 1979, 1980), es necesario conocer la composición en AGE de *Artemia* para utilizarla como alimento de peces marinos. Si no se conoce su composición, la *Artemia* debería de ser dada a comer junto con otros copépodos marinos, o habría que alimentarla con lípidos que contuviesen $\omega 3$ HUFA, para evitar grandes pérdidas de peces debido a síndromes varios

Otros piensos vivos

Los copépodos marinos, *Tigriopus* y *Acartia*, y los de agua dulce *Moina* y *Daphnia* son bien conocidos, también, como alimentos adecuados para criar peces jóvenes de unos 7 mm de longitud. WATANABE *et al.* (1978d), analizaron los ácidos grasos de este zooplancton. Como se muestra en la tabla 18, se observó que el *Tigriopus* contenía cantidades relativamente altas de 20:5 $\omega 3$ y 22:6 $\omega 3$, sin afectarle el medio de cultivo, tales como la levadura de pan o torta de salsa de soja; sugiriendo estos resultados que tienen un alto valor nutritivo para los peces. Por otra parte, el contenido de $\omega 3$ HUFA de los lípidos de *Moina* (tabla 19), estaba significativamente afectado por los organismos de cultivo, tal y como se había visto en los rotíferos. Cuando se cultivaba *Moina* con levadura, contenía niveles altos de ácidos grasos monoetilénicos y niveles bajos de $\omega 3$ HUFA, mientras que los que se criaban con estiercol de pollo, tenían un gran contenido de 20:5 $\omega 3$, indicando que el primero es inferior al último como pienso para peces. También se observó que *Moina* tomaba los lípidos emulsionados muy fácilmente por el método directo, como se observa en la fig. 11. La *Acartia* recogida en el mar era un pienso muy bueno para los peces; contenía tanto 20:5 $\omega 3$ como 22:6 $\omega 3$ y en cantidades elevadas, llegando el total de los $\omega 3$ HUFA hasta un 30-60 %, aunque se observaron algunas variaciones estacionales en el contenido de $\omega 3$ HUFA. El espectro de ácidos grasos de *Daphnia* (tabla 20), también le hace ser un buen alimento para peces, desde el punto de vista de su contenido en AGE.

BIBLIOGRAFÍA

- ADRON, J. W.; BLAIR, A.; COWEY, C. B. y SHANKS, A. M.: 1976. Effect of dietary level and energy source on growth, feed conversion and body composition of turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Aquaculture*, 7: 125-132.
- AHLUWALIA, B. G.; PINCUS, G. y HOLMAN, R. T.: 1967. Essential fatty acid deficiency and its effect upon reproductive organs of male rabbits. *J. Nutr.*, 92: 205-214.
- ALFIN-SLATER, R. B. y KANEDA, T.: 1962. Comparative bioactivity of linoleate and arachinodate in the rat. *Fedn Proc.*, 21, 285.
- ALFIN-SLATER, R. B. y AFTERGOOD, L.: 1968. Essential fatty acids reinvestigated. *Physiol. Rev.*, 48: 758-784.
- ALFIN-SLATER, R. B.; SHIMMA, Y.; HANSEN, H.; WELLS, P. y AFTERGOOD, L.: 1972. Dietary fat composition and tocopherol requirement III. Quantitative studies in the relationship between dietary linoleate and vitamin E. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 49: 395-402.
- AOE, H.; ABE, I.; SAITO, T.; FUKAWA, y KOYAMA, H.: 1972. Preventive effects of tocopherols on muscular dystrophy of young carp. *Bull. Japan. Soc. scient. Fish.*, 38: 845-851.
- ARAI, S.; NOSE, T. y HASHIMOTO, Y.: 1971. A purified test diet for the eel, *Anguilla japonica*. *Bull. Freshwat. Fish. Res. Lab., Tokyo*, 221: 161-178.
- ARAKAWA, T.; YOGATA, T. y WATANABE, T.: 1979. Rearing of larvae of puffer (*Fugu rubripes rubripes*) by rotifer (*Brachionus plicatilis*) cultured with various foods. *Bull. Nagasaki Pref. Inst. Fish.*, No. 5, pp. 5-8 (en japonés).

FUJITA, S.: 1972. Food value of *Acartia clausi*, *Tigriopus japonicus* and *Artemia salina* to juveniles of red sea bream. Report on selection of proper species and mass-culture of zooplanktons as food for marine fish larvae — I. Rep. Nagasaki Pref. Inst. Fish., 352: 27-28 (en japonés).

FUJITA, S.: 1973. Importance of zooplankton mass culture in producing marine fish seed for fish farming. Bull. Plankton Soc. Japan, 20: 49-53.

FUJITA, S.: 1979. Culture of red sea bream, *Pagrus major*, and its food. En: E. Styczynska-Jurewicz, T. Backiel, E. Jaspers y G. Persoone (Editores), Cultivation of Fish Fry and its Live Food. European Mariculture Society, Special Publication No. 4. EMS, Bredene, Bélgica. pp. 183-197.

FUKUSHO, K.: 1974. *Artemia* nauplii as a food for rock sea bream juveniles. Suisan Zoshoku, 21: 71-75 (en japonés).

FUKUSHO, K.; ARAKAWA, T. y WATANABE, T.: 1980. Food value of a copepod, *Tigriopus japonicus*, cultured with ω -yeast for larvae and juveniles of mud dab, *Limanda yokochamae*. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 46: 499-503.

FUKUZAWA, T.; PRIVETT, O. S. y TAKAHASHI, Y.: 1970. Effect of essential fatty acid deficiency on release of triglycerides by the perfused rat liver. *J. Lipid Res.*, 11: 522-527.

FUKUZAWA, T.; PRIVETT, O. S. y TAKAHASHI, Y.: 1971. Effect of essential fatty acid deficiency on lipid transport from liver. *Lipids*, 6: 388-393.

FURUKAWA, A.; TSUKAHARA, H. y FUNAE, K.: 1966. Studies on feed for fish V. Results of the small floating net culture test to establish the artificial diet as complete yellowtail foods. Bull. Naikai reg. Fish. Res. Lab., 23: 45-56.

FUSHIMI, T.: 1971. Studies on the seed production of red sea bream. VI. Dietary value of *Tigriopus japonicus* together with *Artemia salina* to red sea bream juveniles. J. Hiroshima Pref. Exp. Stn., 3: 29-34.

GARLING, D. L. y WILSON, R. P.: 1976. The optimum dietary protein to energy ratio for channel catfish fingerlings. *J. Nutr.*, 106: 1368-1375.

GATESOUBE, F. J.; LEGER, C.; METAILLER, R. y LUQUET, P.: 1977a. Alimentation lipidique du turbot (*Scophthalmus maximus* L.) I. Influence de la longueur de chaîne des acides gras de la série $\omega 3$. Ann. Hydrobiol. 8: 89-97.

GATESOUBE, F. J.; LEGER, C.; METAILLER, R. y LUQUET, P.: 1977b. Alimentation lipidique du turbot (*Scophthalmus maximus*) II. Influence de la supplementation en méthylques de la série linoléenne et de la composition en acides gras de la série $\omega 9$ sur la croissance. Ann. Hydrobiol., 8: 247-254.

HASHIMOTO, Y.; OKAICHI, T.; WATANABE, T. y FURUKAWA, A.: 1966. Muscular dystrophy of carp due to oxidized oil and the preventive effect of vitamin E. Bull. Japan. Soc. scient. Fish., 32: 64-69.

HAYES, K. C.; NIELSEN, S. W. y ROUSSEAU, J. E.: 1969. Vitamin E deficiency and fat stress in the dog. *J. Nutr.*, 99: 196-209.

HIGASHI, H.; KANEKO, T.; USHIYAMA, M. y SUGIHASHI, T.: 1964. Effects of dietary lipids on fish under cultivation II. Effect of ethyl linoleate, linolenate and ethyl esters of polyunsaturated fatty acids on deficiency of essential fatty acids in rainbow trout. Bull. Japan. Soc. scient. Fish., 30: 778-783.

HIGASHI, H.; KANEKO, T.; ISHII, S. y SUGIHASHI, T.: 1966. Effect of ethyl linoleate, ethyl linolenate and ethyl esters of highly unsaturated fatty acids on essential fatty acid deficiency in rainbow trout. *J. Vitam.*, 12: 74-79.

HIGASHI, H.; TAKEDA, K. y NAKAHIRA, T.: 1970. Studies on the roles of tocopherols in fish (I) Tocopherol content and ratio of each member of tocopherol-homologues in marine animals. *Vitamins*, 42: 1-7.

HIGASHI, H.; TERADA, K.; MORINAGA, H. y NAKAHIRA, T.: 1972. Studies on roles of tocopherols in fish (II). Mutual

KULIKOV, V. M.: 1965. The utilization of phosphatide concentrate in the animal industry. *Muslobaina-Jirouaga Promyshlemost* 22: 1-8.

KURATA, H.: 1959. Preliminary report on the rearing of the herring larvae. *Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab.*, 2: 117-138 (en japonés).

LEE, D. J.; ROEM, J. N.; YU, T. C. y SINNHUBER, R. O.: 1967. Effect of ω 3 fatty acids on the growth of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *J. Nutr.* 92: 93-98.

LEE, D. J. y PUTNAM, G. B.: 1973. The response of rainbow trout to varying protein/energy ratios in a test diet. *J. Nutr.* 103: 916-922.

LEGER, C.; BERGOT, P.; FLANZY, J. y MEUROT, J.: 1977. Specific distribution of fatty acids in the triglycerides of rainbow trout adipose tissue: Influence of temperature. *Lipids* 12: 538-543.

LEGER, C.; GATESOUE, F.; METAILLER, R.; LUQUET, P. y FREMONT, L.: 1979. Effect of dietary fatty acids differing by chain length and ω series on the growth and lipid composition of turbot *Scophthalmus maximum* L. *Comp. Biochem. Physiol.* 64B: 1353-1356.

LITTLE, G.: 1969. The larval development of the shrimp, *Palaemon macrodactylus* Rathbun, reared in the laboratory and the effect of the eyestalk extirpation on development. *Crustaceana*, 17: 69-87.

MORRIS, R. W.: 1956. Some aspect of the problem of rearing marine fish. *Bull. Inst. Oceano gr.*, 108: 1-61.

MURAI, T. y ANDREWS, J. W.: 1974. Interactions of dietary α -tocopherol, oxidized menhaden oil and ethoxyquin on channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *J. Nutr.* 104: 1416-1431.

MOHRHADER, H. y HOLMAN, R. T.: 1963. Effect of linolenic acid upon the metabolism of linoleic acid. *J. Nutr.* 81: 67-74.

NICOLAIDES, N. y WOODALL, A. H.: 1962. Impaired pigmentation in chinook salmon fed diets deficient in essential fatty acids. *J. Nutr.* 78: 431-437.

NJAA, L. R.; UTNE, F. y BREAKKAN, O. R.: 1966. Effect of BHT (Butylated hydroxytoluene) on the protein value of herring meal for the young rat. *FiskDir. Skr. Ser. Tekn. undersok.* 5: 1-12.

OGINO, C.; CHIOU, J. Y. y TAKEUCHI, T.: 1976. Protein nutrition in fish VI. Effects of dietary energy sources on the utilization of protein by rainbow trout and carp. *Bull. Japan. Soc. scient. Fish.* 42: 213-218.

OGINO, C.: 1980. Protein requirement of carp and rainbow trout. *Bull. Japan. Soc. scient. Fish.* 46: 385-388.

OKA, A.; SUZUKI, N. y WATANABE, T.: 1980. Effect of fatty acids in rotifers on growth and fatty acid composition of larval ayu, *Plecoglossus altivelis*. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 46: 1413-1418 (en japonés).

OPSTVEDT, J.: 1974. Influence lipids on the nutritive value of fish meal VI. Effects of fat addition to diets high in fish meal on fatty acid composition and flavor quality of broiler meat. *Acta Agric. scand.* 24: 62-67.

OWEN, J. M.; ADRON, J. W.; SARGENT, J. R. y COWEY, C. B.: 1972. Studies on the nutrition of marine flatfish. The effect of dietary fatty acids of the plaice, *Pleuronectes platessa*. *Mar. Biol.* 13: 160-166.

OWEN, J. M.; ADRON, J. W.; MIDDLETON, C. y COWEY, C. B.: 1975. Elongation and desaturation of dietary fatty acids in turbot *Scophthalmus maximus*, and rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Lipids*. 10: 528-531.

PAGE, J. W. y ANDREWS, J. W.: 1973. Interactions of dietary levels of protein and energy on channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *J. Nutr.* 103: 1339-1346.

PHILLIPS, A. M. Jr.; LIVINGSTON, D. L. y POSTON, H. A.: 1963. The effect of diet mixture and calorie source on growth,

trout and their effective components. *Bull. Japan. Soc. scient. Fish.* 44: 733-738.

TAKEUCHI, T.; WATANABE, T. y OGINO, C.: 1978a. Supplementary effect of lipids in a high protein diet of rainbow trout. *Bull. Japan. Soc. scient. Fish.* 44: 677-681.

TAKEUCHI, T.; WATANABE, T. y OGINO, C.: 1978b. Optimum ratio of protein to lipid in diets of rainbow trout. *Bull. Japan. Soc. scient. Fish.* 44: 683-688.

TAKEUCHI, T.; YOKOYAMA, M.; WATANABE, T. y OGINO, C.: 1978c. Optimum ratio of dietary energy to protein for rainbow trout. *Bull. Japan. Soc. scient. Fish.* 44: 729-732.

TAKEUCHI, T.; WATANABE, T. y OGINO, C.: 1978d. Use of hydrogenated fish oil and beef tallow as a dietary energy source for carp and rainbow trout. *Bull. Japan. Soc. scient. Fish.* 44: 875-881.

TAKEUCHI, T. y WATANABE, T.: 1979. Effect of excess amounts of essential fatty acids on growth of rainbow trout. *Bull. Japan. Soc. scient. Fish.* 45: 1517-1519.

TAKEUCHI, T.; WATANABE, T. y OGINO, C.: 1979a. Availability of carbohydrate and lipid as dietary energy sources for carp. *Bull. Japan. Soc. scient. Fish.* 45: 977-982.

TAKEUCHI, T.; WATANABE, T. y NOSE, T.: 1979c. Requirement for essential fatty acids of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in freshwater environment. *Bull. Japan. Soc. scient. Fish.* 45: 1319-1323.

TAKEUCHI, T.; WATANABE, T. y OGINO, C.: 1979d. Digestibility of hydrogenated fish oils in carp and rainbow trout. *Bull. Japan. Soc. scient. Fish.* 45: 1521-1525.

TAKEUCHI, T.; ARAI, S.; WATANABE, T. y SHIMMA, Y.: 1980. Requirement of eel *Anguilla japonica* for essential fatty acids. *Bull. Japan. Soc. scient. Fish.* 46: 345-353.

TAKEUCHI, T. y WATANABE, T.: 1982. Effect of Various Polyunsaturated Fatty acids on Growth and Fatty Acid

Compositions of Rainbow trout *Salmo gairdneri*, Coho salmon *Onchorhynchus kisutch*, and Chum Salmon *Onchorhynchus keta*. *Bull. Japan. Soc. scient. Fish.* 48: 1745-1752.

TESHIMA, S.: 1978. Requirement of prawn (*Penaeus japonica*) to essential fatty acids and sterols. In *Dietary Lipids in Aquaculture* (Editado por Japan. Soc. Sci. Fish.) pp. 60-77.

TRIDER, D. J. y CASTELL, J. D.: 1980. Effect of dietary lipids in growth, tissue composition of the oyster (*Crassostrea virginica*) *J. Nutr.* 110: 1303-1309.

TSUKAHARA, H.; FURUKAWA, A. y FUNAE, K.: 1967. Studies in feed for fish. VIII. The effects of dietary fat on the growth of yellowtail (*Seriola quinqueradiata* Temminak et Schegel). *Bull. Naikai reg. Fish. Res. Lab.* 24: 29-50.

WATANABE, T.; MATSUURA, Y. y HASHIMOTO, Y.: 1966. Effect of natural and synthetic antioxidants on the incidence of muscle dystrophy of carp induced by oxidized saury oil. *Bull. Japan. Soc. scient. Fish.* 32: 887-891.

WATANABE, T.; TSUCHIYA, T. y HASHIMOTO, Y.: 1967. Effect of DPPD and ethoxyquin on the muscular dystrophy of carp induced by oxidized saury oil. *Bull. Japan. Soc. scient. Fish.* 33: 843-847.

WATANABE, T. y HASHIMOTO, Y.: 1968. Toxic components of oxidized saury oil inducing muscular dystrophy in carp. *Bull. Japan. Soc. scient. Fish.* 34: 1131-1140.

WATANABE, T.; TAKASHIMA, F.; OGINO, C. y HIBIYA, T.: 1970a. Effects of α -tocopherol deficiency on carp. *Bull. Japan. Soc. scient. Fish.* 36: 623-630.

WATANABE, T.; TAKASHIMA, F.; OGINO, C. y HIBIYA, T.: 1970b. Requirement of young carp for α -tocopherol. *Bull. Japan. Soc. scient. Fish.* 36: 972-976.

WATANABE, T.; TAKASHIMA, F.; OGINO, C. y HIBIYA, T.: 1970c. Effects of α -tocopherol deficiency on carp. II. Protein composition of the dystrophic muscle. *Bull. Japan. Soc. scient. Fish.* 36: 1231-1234.

reproduction of red sea bream. Bull. Japan. Soc. scient. Fish. 50: 495-501.

WATANABE, T.; TAKEUCHI, T.; SAITO, M. y NISHIMURA, K. 1984b. Effect of low protein high calory or essential fatty acid deficiency diet on reproduction of rainbow trout. Bull. Japan. Soc. scient. Fish. 50: 1207-1215.

WOODALL, A. N.; ASHLEY, L. M.; HALVER, J. E.; OLCOTT, H. S. y VAN DER VOEN, J.: 1964. Nutrition of salmonid fishes XIII. The α -tocopherol requirement of chinook salmon. J. Nutr. 84: 125-135.

YAMADA, K.; KOBAYASHI, K. y YONE, Y.: 1980. Conversion of linolenic acid to ω 3-highly unsaturated fatty acids in marine fishes and rainbow trout. Bull. Japan. Soc. scient. Fish. 46: 1231-1233.

YONE, Y.; SAKAMOTO, S. y FURUICHI, M.: 1974. Studies on red sea bream IX. The basal diet for nutrition studies Rep. Fish. Res. Lab. Kyushu Univ. 2: 13-24.

YONE, Y. y FUJII, M.: 1975a. Studies on nutrition of red sea bream. XI. Effect of ω 3 fatty acid supplement in a corn oil diet on growth rate fed efficiency Bull. Japan. Soc. scient. Fish. 41: 73-77.

YONE, Y. y FUJII, M.: 1975b. Studies on nutritifon of red sea bream. XII. Effect of ω 3 fatty acid supplement in a corn oil diet on fatty acid composition of fish. Bull. Japan. Soc. scient. Fish. 41: 79-86.

YONE, Y.: 1978. Essential fatty acids and lipid requirements of marine fish. In *Dietary Lipids in Aquaculture*. (Editado por Japan. Soc. Sci. Fish.) pp. 43-59. Koseisha-Koseikaku, Tokyo.

YU, T. C. y SINNHUBER, R. O.: 1972. Effect of dietary linolenic acid and docosahexaenoic acid on growth and fatty acid composition of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Lipids, 7: 450-454.

YU, T. C. y SINNHUBER, R. O.: 1976. Growth response of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) to dietary ω 3 and ω 6 fatty acids. Aquaculture 8: 309-317.

YU, T. C.; SINNHUBER, R. O. y PUTMAN, G. B.: 1977a. Effect of dietary lipids on fatty acid composition of body lipid in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Lipids 12: 495-499.

YU, T. C.; SINNHUBER, R. O. y PUTMAN, G. B.: 1977b. Use of swine fat as an energy source in trout rations Prog. Fish-Cult. 39: 95-97.

YU, T. C. y SINNHUBER, R. O.: 1979. Effect of dietary ω 3 and ω 6 fatty acids on growth and feed conversion efficiency of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). Aquaculture 16: 31-38.

YU, T. C.; SINNHUBER, R. O. y HENDRICKS, J. D.: 1979. Reproduction and survival of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fed linolenic acid as the only source of essential fatty acids. Lipids 14: 572-575.

ZEITOUN, I. H.; HALVER, J. E.; ULLREY, D. E. y TACK, P. I.: 1973. Influence of salinity on protein requirements of rainbow trout fingerlings. J. Fish. Res. Bd. Can. 30: 1867-1873.

Influencia de la ingesta de glúcidos sobre la utilización nutritiva de la dieta y el crecimiento en peces de diferentes hábitos alimenticios: carnívoros, omnívoros y herbívoros.

1.1. Carnívoros

1.1.1. Trucha (*Salmo gairdneri* y otras)

Los trabajos de MC LAREN (1946) y PHILLIPS *et al.* (1948) pusieron de manifiesto un peor crecimiento de las truchas cuando comieron dietas ricas en glúcidos, posiblemente debido a una disminución de la digestibilidad y como consecuencia de alteraciones metabólicas que provocaron además desórdenes graves: mortalidad, hepatomegalia e hiperglucemia; llegando a la conclusión de que el nivel de incorporación de glúcidos debería ser inferior al 12 %. No obstante, la razón de estos perjuicios podría deberse, como el mismo PHILLIPS dice, a que los regímenes dietéticos estaban mal equilibrados o que el nivel de glúcidos era demasiado alto.

Se puede afirmar con Phillips que la digestibilidad de los glúcidos en general disminuye cuando el peso molecular de los mismos aumenta. SINGH y NOSE (1967) confirman que los glúcidos sencillos tienen una elevada digestibilidad y que es menor la de los glúcidos complejos. No obstante y dado que diferentes autores han encontrado valores distintos para la digestibilidad del mismo glúcido, es evidente que además del peso molecular existen otros factores que influyen sobre la misma.

En la trucha el C.D. de los glúcidos complejos (tabla 1) disminuye cuando su nivel de incorporación a la dieta aumenta (INABA *et al.*, 1963; BERGOT, 1979c). La digestibilidad de almidón crudo es muy baja, mejorando cuando el almidón está cocido o gelatinizado (INABA *et al.*, 1963; SMITH, 1971; LUQUET, 1976) y en todos los casos fue mejor para los menores niveles de incorporación a la dieta (BERGOT y BREQUE, 1983). La presencia de almidón crudo disminuye la absorción del almidón cocido (INABA *et al.*, 1963). Cuando el nivel de incorporación de almidón a la dieta aumenta también se afecta la digestión y absorción de las proteínas, disminuyendo su coeficiente de digestibilidad (KITAMIKADO *et al.*, 1964).

La incorporación a la dieta de maíz extrusado o expandido mejora la ganancia de peso, sin modificar el índice de conversión, ni la composición de la carcasa, aunque se produjo un aumento del contenido en grasa de las vísceras

TABLA 1

Coeficiente de digestibilidad del almidón

n.º	DIETA		Tipo	C.D.A.		Referencia
	Proteína (% S.S.)	Almidón (% S.S.)		Proteína (%)	Almidón (%)	
1	23,8	40,2	cocido	85,3	48,2	INABA <i>et al.</i> (1963)
2	25,4	37,4	crudo	88,0	22,0	
3	32,6	31,9	cocido	91,4	81,7	
4	38,7	22,8	cocido	94,0	83,9	
5	45,5	11,5	cocido	92,8	90,0	
6	44,7	21,5	cocido	93,8	78,9	
7	37,6	24,5	crudo + cocido	87,2	59,2	
8	63,6	10,0		81		
9	56,5	20,0		32		
10	42,3	40,0		78		
11	28,2	60,0		74		KITAMIKADO <i>et al.</i> (1964)
12	90,0	10,0		96		
13	80,0	20,0		94		
14	60,0	40,0		89		
15	40,0	60,0		82		
16	20,0	80,0		79		
17		10,0	crudo (ad libitum)		38	
18		25,0	crudo (ad libitum)		26	
19		40,0	crudo (ad libitum)		22	
20		40,0	crudo (restringido)		36	
21		40,0	crudo (restringido)		25	BERGOT (1979)
22		20,0	cocido		84	
23		30,0	cocido		82	
24		40,0	cocido		48	
25	46,8	30,5	crudo	87,9	38,1	
26	50,3	27,1	gelatinizado	87,5	86,5	
						BERGOT y BREQUE (1983)

Las dietas con almidón crudo de maíz proporcionan cambios en la composición del digestivo y la carcasa llegando a hacer tres veces mayores los niveles de lípidos, no encontrando BERGOT (1979) cambios en el hígado. Sin embargo, CARDENETE *et al.* (1986b) en un experimento semiindustrial en una piscifactoria, no encuentra cambios en la composición corporal, para incorporaciones del 10 % de almidón a la dieta; y encontrando que la presencia del glucido mejoró el coeficiente de eficacia en crecimiento.

Cuando a las dietas se adiciona celulosa se observa en general una disminución importante del crecimiento tanto en peso como en longitud, existiendo una correlación negativa estadísticamente significativa entre el nivel de celulosa en las dietas y el crecimiento de cualquier tipo (POSTON, 1975).

Es posible que estas alteraciones del crecimiento sean dependientes por un lado de la disminución de la ingesta que ocasiona el adicionar a la dieta niveles de fibra comprendidos entre el 10 y el 20 %. Pero además el coeficiente de digestibilidad de todos los nutrientes disminuye al aumentar el nivel de celulosa en la dieta (HILTON *et al.*, 1983), posiblemente por disminución del tiempo de permanencia de la digesta en el intestino, hecho que sería crucial en un animal de intestino corto como es el caso de la trucha. Esta explicación contrasta no obstante con la información dada por BUHLER y HALVER (1961) de que la celulosa incrementa la digestibilidad de algunos nutrientes.

Por otro lado las truchas se adaptan de forma insuficiente a la inclusión de este glucido en su dieta, la respuesta consiste en un aumento del volumen y/o la distensibilidad del estómago, pero en cualquier caso solo parece ser posible esta adaptación para niveles dietéticos de fibra por debajo del 10 % (HILTON *et al.*, 1983).

Cuando a las dietas se adiciona glucosa se produce una disminución en el crecimiento, aumenta el glucógeno hepático y el tamaño del hígado con una disminución de su color, no apreciándose incremento de los lípidos en esta viscera pero si en el digestivo y en el músculo, donde su nivel puede llegar a multiplicarse por tres (BERGOT, 1979; REFSTIE y AUSTRENG, 1981).

No obstante la glucosa mejora ligeramente el incremento de peso por gramo de proteína ingerida (C.E.C., P.E.R.) y el valor productivo de la proteína (P.P.V.) (BERGOT, 1979a).

En opinión de SMITH (1971) cuando el nivel de glucosa en la dieta no sobrepasa el 20 % no hay efecto desfavorable para el crecimiento y el I.C. mejora, pero para niveles

mayores se muestra nevemente perjudicial y especialmente sobre el consumo de alimento que disminuye.

Cuando el nivel de glucosa fue del 30 %, no solo se vio afectado el crecimiento, sino que el coeficiente de eficacia en crecimiento también disminuyó, así como la proporción de lípidos de la carcasa. Esta menor proporción de lípidos en los animales que tuvieron una mayor ingesta glucídica y de energía indica que la trucha no convierte los glucidos dietarios al menos, en grasa corporal. Como era de esperar la glucemia, el glucógeno hepático y el peso del hígado fue mayor en los animales alimentados con altos niveles de glucosa (BEAMISH *et al.*, 1986).

Por último, los niveles de glucemia se correlacionan positivamente con la glucosa ingerida. Cuando se suministra almidón en la dieta los incrementos de la glucemia son muy pequeños. En conclusión y en base a los resultados de BERGOT (1979b) la trucha puede tolerar una ingesta diaria de hasta 700 mg de glucosa por 100 g de peso corporal, sin que aparezca efecto indeseable alguno. Si además los animales se adaptan durante varias semanas a dietas con altas concentraciones de glucosa, son capaces de regular su glucemia, siempre en periodos largos de aproximadamente 24 horas. La absorción es siempre lenta y el máximo se alcanza entre las 3-6 horas tras la comida, y es independiente del número de comidas suministradas (fig. 1).

Estudio comparado del efecto de diferentes glucidos adicionados a la dieta

La incorporación de almidón gelatinizado, sacarosa o glucosa, a las dietas para la trucha, produjeron semejantes o mejores incrementos de peso en los animales, en relación con los que tomaron dietas testigos, carentes de glucidos. La adición de lactosa proporcionó el menor incremento de peso. Además con la sacarosa se consiguió el mejor C.E.C. y con este mismo glucido y el almidón el mejor P.P.V. (PIEPER y PFEFFER, 1979 y 1980a y b).

La sustitución del 10 % de proteína por sacarosa o 10-20 % de proteína por almidón gelatinizado produjo muy buenos resultados, concretamente se alcanzó el máximo de peso. Los máximos C.E.C. se alcanzaron, para sustituciones de 30-40 % de proteína por almidón e igual ocurrió con el P.P.V. (PIEPER y PFEFFER, 1980b, GARCÍA *et al.*, 1984). No obstante en todos los casos los niveles protéicos remanentes eran muy altos, superiores al 40 %, menos en un caso en el que el nivel protéico estaba por debajo del 35 %; y es éste precisamente el que confirma la utilidad del aporte de una fuente de energía fácilmente utilizable para la trucha, pues

sencillos, no se ve afectada por este proceso y además es en todos los casos elevada (BERGOT, 1979c).

Desde el punto de vista metabólico no se aprecian sin embargo diferencias entre los distintos glúcidos ensayados, así SMITH (1971) en cámaras metabólicas, encuentra que almidón, dextrina, glucosa, etc, eran sustratos energéticos semejantes una vez absorbidos; la gran diferencia como ya hemos dicho era su digestibilidad.

1.2. Omnívoros

1.2.1. Carpa (*Cyprinus carpio* L.)

La presencia de glúcidos complejos en el tracto gastro intestinal de estos animales es frecuente, existiendo la posibilidad de digerirlos y absorberlos en mayor o menor medida. Por ello no debe sorprender, que el crecimiento y la eficacia alimentaria sean máximas en el caso de animales que ingieran dietas que contienen almidón, respecto de los que consumen dietas a las que se adicionó dextrina o glucosa, siendo este último glúcido el que ofrece peores resultados (FURUICHI y YONE, 1982). Sin embargo estos mismos autores en 1980 habían encontrado que la adición de dextrina a distintos niveles a la dieta, no modificaba la ganancia de peso, mientras que disminuye el índice de eficacia alimentaria, lo que era lógico, ya que al sustituir proteína por dextrina, disminuye el nivel protéico de la dieta y por tanto su disponibilidad potencial para el crecimiento.

Efectivamente, para niveles muy altos de dextrina en la dieta (45 %) se produce una disminución del incremento de peso en la carpa, pero esta situación se acompaña del mejor coeficiente de eficacia en crecimiento, lo cual indica un ahorro de proteína por parte del glúcido (SHIMENO *et al.*, 1981).

La administración de dextrina produjo un incremento notable de la relación hepatosomática (X 2.2), que se debió en parte a un incremento en el glucógeno hepático (X 2.5) y que se corresponde con un aumento en la actividad de la glucógeno sintetasa (TAKEUCHI *et al.*, 1979).

Este incremento del glucógeno es proporcional al nivel dietético de dextrina (SHIMENO *et al.*, 1981), mientras que los lípidos tanto en el hígado como en el músculo varía muy poco (FURUICHI y YONE, 1980).

Al mismo tiempo se observa un incremento de la actividad amilásica así como de los enzimas relacionados con las vías glucolíticas, mientras que la gluconeogénesis y la degradación de aminoácidos disminuye (SHIMENO *et al.*, 1979, 1981 y SHIMENO, 1982).

Por último, según NAGAI e IKEDA (1972) la carpa posee poca capacidad para producir Acetil-CoA a partir de glucosa y por tanto la síntesis de lípidos neutros por esta vía se verá seriamente afectada. Y según HOFER y STURMBAUER (1985) la actividad amilásica de este pez es fuertemente inhibida por la harina de trigo y, como es lógico, se reduce la digestibilidad del almidón, ya que estos inhibidores son resistentes a los procesos digestivos al menos en esta especie, al contrario de lo que ocurría en la trucha. Sin embargo, en una información reciente se afirma que la carpa es capaz de compensar el efecto de estos inhibidores aumentando la velocidad de secreción de amilasa pancreática (STURMBAUER y HOFER, 1986).

La administración oral de glucosa produjo una hiperglucemia persistente que se acompañó de un descenso en los niveles plasmáticos de aminoácidos, ácidos grasos libres y colesterol (PALMER y RYMAN, 1972).

La tolerancia a la glucosa, en estas condiciones, es buena, mejor que en otras especies, como dorada o seriola, juzgada por el tiempo que se tarda en alcanzar el máximo y sobre todo por lo que se tarda en retornar a los valores de glucemia basal. Encontrándose en estos animales una respuesta insulínica a la administración de dextrina que justifica la mejor tolerancia a la glucosa antes mencionada (FURUICHI y YONE, 1981)*.

Se puede afirmar por tanto con TAKEUCHI *et al.* (1979) que los glúcidos poseen un gran valor como fuente dietaria de energía para la carpa y que la digestibilidad de la proteína y de los glúcidos fueron siempre altos para distintos niveles glucídicos en la dieta (SHIMENO *et al.*, 1979; SHIMENO, 1982).

Y que, en general, el crecimiento y el coeficiente de utilización nutritiva de la proteína y de los glúcidos fueron siempre altos para distintos niveles de glúcidos ensayados, salvo que su nivel fuese excesivamente alto.

Por último el óptimo crecimiento se consiguió en post-larvas y juveniles suministrándoles un 26 % de dextrina en la dieta junto a un 45 % de proteína.

1.2.2. Pez Gato (*Ictalurus punctatus* R.)

Esta especie puede utilizar niveles elevados de carbohidratos digestibles (dextrina), que pueden llegar a

* En general, diferentes autores asumen en base a resultados semejantes a éstos que los peces son potencialmente diabéticos. Pero quizás fuese más exacto decir que la insulina, en estos animales, es más importante para regular el metabolismo lipídico que el glucídico.

TABLA 4

Influencia de la ingestión de diferentes glúcidos sobre el crecimiento y la composición corporal en Tilapia

Glúcidos (%)	Incremento de peso (g)	C.E.C.	P.P.V	% Lípidos corporales	Referencia
Control	0	2.09	30.65	5.17	ANDERSON <i>et al.</i> (1984)
Glucosa	10	2.40	34.41	7.30	
	25	2.52	35.08	8.17	
	40	2.46	34.07	6.00	
Sacarosa	10	2.41	34.35	6.17	JAUNCEY (1982)
	25	2.64	40.36	7.70	
	40	2.83	39.95	6.94	
Dextrina	10	2.17	30.93	5.73	
	25	2.75	38.42	7.19	MAZID <i>et al.</i> (1979)
	40	2.78	41.22	7.11	
Dextrina	12	1.41	—	1.00	
	20	1.68	—	1.10	
	36	2.45	—	1.50	ANDERSON <i>et al.</i> (1984)
Dextrina	13	1.55	32.38	1.99	
	24	2.06	34.91	2.60	
	47	3.21	59.40	3.84	
Almidón	10	2.19	31.61	5.21	
	25	2.36	34.67	8.22	
	40	2.61	37.27	6.00	
Celulosa	10	2.03	28.94	4.98	
	25	1.88	26.14	4.48	
	40	1.75	25.61	4.91	

consecuencia de la incorporación a la dieta de diferentes tipos de glúcidos, por lo que diferentes autores recomendaron un nivel de incorporación de los mismos inferior al 12 %. Otros, sin embargo, no encuentran estas alteraciones y preconizan la utilización de glúcidos absorbibles, con fines de ahorro protéico, afirmando que además favorecen el crecimiento y la retención de nitrógeno.

2.1. Carnívoros

Influencia de la presencia de diferentes glúcidos sobre el aprovechamiento nutritivo de la dieta por las siguientes especies (tabla 5):

2.1.1. *Seriola* (*Seriola quinqueradiata*)

El coeficiente de digestibilidad del almidón (patata) varió del 20 al 70 %, coincidiendo los valores más altos, con los menores niveles dietéticos, del 7 al 8 %.

Por lo que se refiere al crecimiento se observa, que este mejora por incorporaciones de almidón a la dieta, a niveles comprendidos entre el 10 y el 20 %, niveles superiores producen reducción en el crecimiento y, no sólo esto, sino que la digestibilidad también disminuye así como la tolerancia a la glucosa. Al mismo tiempo la presencia del glúcido provocó un acúmulo de grasa en hígado y carcasa, a la par que una disminución en la proteína y un aumento del glucógeno muscular.

La incorporación de almidón o de dextrina a la dieta, permite que las proteínas sean mejor utilizadas, protegiéndolas de su utilización con fines energéticos, o bien permite un mismo crecimiento para menores valores de proteína en la dieta. Todo lo cual se ve confirmado por la disminución en la actividad de algunas enzimas gluconeogénicas (FDPasa y G6Pasa) y un aumento de los glucolíticos (PFK).

La presencia de fructosa proporcionó una deficiente utilización de la dieta y bajo crecimiento, acompañado de una pobre acumulación de grasa tanto en músculo como en hígado, junto a una escasa actividad gluconeogénica y una elevada glucólisis, de modo semejante a lo descrito en el caso del almidón (SHIMENO *et al.*, 1979).

Cuando el glúcido utilizado fue la dextrina, mientras para unos (SHIMENO *et al.*, 1979) mejoró el crecimiento y disminuyó la proporción de proteína en el músculo e hígado a la par que aumentaba la de grasa, de forma semejante a lo

La incorporación de dextrina a la dieta sólo promueve variaciones en la glucemia para incorporaciones del orden del 40 %, lo cual parece indicar que la digestión y absorción de este glúcido es de pequeña magnitud en esta especie. Por tanto, si su absorción es pobre es de esperar que sus efectos metabólicos no sean muy marcados y así mientras que para unos induce cambios negativos en el crecimiento a partir de niveles de inclusión en la dieta del 10 % (YONE, 1976), para otros son necesarios niveles por encima del 20 % para que aparezca este efecto nocivo (FURUICHI y YONE, 1980). Junto a esto se observa una disminución del índice de eficacia alimentaria (I.E.A.) a medida que aumenta el nivel de dextrina en la dieta, disminuyen los lípidos en el músculo e hígado y aumenta el glucógeno en esta viscera.

En su conjunto estos resultados pueden explicar que la secreción de insulina en respuesta a la ingestión de dextrina sea de pequeña magnitud (FURUICHI y YONE 1981), aún cuando superior a la de la seriola.

Cuando el azúcar adicionado fue la glucosa, intercambiado por proteína, nos encontramos con que suministrada en periodos cortos de hasta 30 días y a niveles no superiores del 10 %, no produce cambios ni en la ganancia de peso, ni en la eficiencia de utilización de la proteína o la energía. Pero a niveles mayores de utilización o para periodos más largos se observa un efecto negativo del monosacárido, tanto sobre el crecimiento como sobre los otros parámetros estudiados. Todo ello es debido a que al elevarse el nivel de glucosa en la dieta disminuye tanto la absorción del azúcar como de la proteína. Además, la glucosa se utiliza escasamente por la dorada, lo que produce retardo en el crecimiento y malos índices de conversión (FURUICHI *et al.*, 1971).

La tolerancia a la glucosa administrada oralmente, se encuentra entre la de la carpa y la seriola, juzgada por el tiempo requerido para alcanzar la máxima glucemia y sobre todo por el que se tarda en retornar a los valores basales (FURUICHI y YONE, 1981). Este tiempo es cada vez mayor cuando el nivel de glúcidos se eleva en la dieta.

En el caso de alevines, la presencia de glucosa en la dieta a niveles del 20 % promueve los mejores índices de eficacia alimentaria, así como el coeficiente de eficacia en crecimiento (C.E.C.) más elevado. Los peores índices se obtuvieron con almidón de patata y posiciones intermedias ocuparon distintos tipos de dextrinas. Ni la evolución ponderal, composición proteica, ni digestibilidad de la misma se afectaron por la presencia de los glúcidos en la ración, así como tampoco el contenido en glucógeno del hígado.

El crecimiento de esta especie prácticamente no se resiente cuando un 50 % del aporte calórico-protéico se sustituye por glúcidos y/o lípidos. La fracción glucídica utilizada ha sido una mezcla a partes iguales de glucosa y dextrina (ADRON *et al.*, 1976).

En los pocos casos ensayados, la incorporación de glúcidos se acompañó de un aumento de la grasa hepática y corporal.

2.1.4. Platija (*Pleuronectes platessa*, L.)

Cuando entre los componentes de la ración se incluye el almidón crudo, se produce una disminución de la digestión y absorción de diferentes nutrientes, incluso la del propio almidón, cuyo coeficiente de digestibilidad disminuye. Este efecto negativo es proporcional al nivel de almidón incorporado a la dieta.

La velocidad de evacuación gástrica, no depende sin embargo de la composición de la dieta, sino de la energía que la misma proporciona, de tal manera que a un mayor contenido energético de la dieta se corresponde una más lenta evacuación gástrica y a la inversa (JOBLING, 1980).

Cuando el glúcido adicionado no es almidón sino dextrina o sacarosa ya no se afecta ni la digestibilidad de la proteína ni de la energía (JOBLING, 1981).

3. Efecto de la supresión de los glúcidos en la alimentación de los peces sobre el crecimiento y aprovechamiento nutritivo de la dieta

En el salmón (*Oncorhynchus tshawytscha*) la supresión de los glúcidos no produjo grandes cambios, hecho que era esperable, dada su condición de carnívoro. No obstante, se aprecia una disminución en la ingesta y en los coeficientes de eficacia en crecimiento (C.E.C.) y en el valor productivo de la proteína (P.P.V.) (BUHLER y HALVER, 1961), explicable porque en estas condiciones está aumentada la vía gluconeogénica y por tanto, parte de los aminoácidos están transformándose en glucosa.

Por tanto para su uso es necesario manipularlo tecnológicamente de tal forma que se aumente su superficie, lo cual en general supone un tratamiento térmico, más o menos intenso, y para evitar que ese calor pudiese dañar a los otros elementos de la dieta, debería realizarse antes de su incorporación a la mezcla.

En mi opinión y a la vista de los resultados consultados sería necesario establecer el nivel óptimo de incorporación a la dieta, del polisacárido, para cada rango de edad/peso y para cada especie.

Como punto de partida diremos que los animales herbivoros toleran mayores niveles de almidón, hasta un 40 %, que los omnivoros (20 %), y los carnivoros, valores aconsejados próximos al 10 %.

Celulosa

La presencia de celulosa en la ración, como ya se ha dicho, merece una atención especial, porque en la mayoría de los casos y para conseguir diferentes fines se adiciona a las dietas como eluyente inerte este polisacárido. Pero hay que tener en cuenta dos cosas, que demuestran que no es tan inerte: por un lado que la celulosa actuando localmente modifica la motilidad gastro-intestinal y por tanto la absorción de diferentes nutrientes. Por otro, que en diferentes especies de peces (elasmobranquios y teleosteos) se ha detectado actividad celulósica asociada con una microflora, que en algunos casos ha llegado a producir una fermentación del 13 % de la celulosa dietaria (SMITH, 1971); sin embargo no se ha podido establecer una relación entre esta actividad enzimática y los hábitos alimenticios de los peces, siendo esta actividad independiente de que los peces fuesen, carnivoros, omnivoros o herbivoros (STICKNEY y SHUMWAY, 1974).

Otros glúcidos

No hemos hecho mención pormenorizada de los restantes glúcidos en este resumen final, especialmente di y monosacáridos, porque prácticamente no están presentes en cantidad suficiente en la naturaleza, como para que su nivel en las dietas fuese relevante. Quedando circunscrito su uso, al empleo que de los mismos pueda hacerse en dietas sintéticas, semisintéticas o en investigación.

ADRON, J. W.; BLAIR, A.; COWEY, C. B. y SHANKS, A. M.: 1976. Effects of dietary energy level and dietary energy source on growth, feed conversion and body composition of turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Aquaculture*, 7:125-132.

ALLIOT, E.; PASTOUREAUD, A y NEDELEC, J.: 1979. Etude de l'apport calorique et du rapport calorico-azoté dans l'alimentation du bar, *Dicentrarchus labrax*. Influence sur la croissance et la composition corporelle. Proc. World Symp. Finfish Nutrition & Fishfeed Technology. Hamburg 20-23 June. Eds. J. E. Halver & K. Tiews. Vol. I. p. 241-251.

ANDERSON, J.; JACKSON, J. A.; MATTY, A. J. y CAPPER, B. S.: 1984. Effects of dietary carbohydrate and fibre on the Tilapia *Oreochromis niloticus* (Linn.). *Aquaculture*, 37: 303-314.

AUSTRENG, E.; RISA, S.; EDWARDS, D. J. y HVIDSTEN, H.: 1977. Carbohydrate in rainbow trout diets. II. Influence of carbohydrate levels on chemical composition and feed utilization of fish from different families. *Aquaculture*, 11: 39-50.

BEAMISH, F. W. H.; HILTON, J. W.; NIIMI, E. y SLINGER, S. J.: 1986. Dietary carbohydrate and growth, body composition and heat increment in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) *Fish Physiol. Biochem*, 1(2): 85-91.

BERGOT, F.: 1979a. Carbohydrate in rainbow trout diets: Effects of the level and source of carbohydrate and the number of meals on growth and body composition. *Aquaculture*, 18: 157-167.

BERGOT, F.: 1979b. Effects of dietary carbohydrates and of their mode of distribution on glycaemia in rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson). *Comp. Biochem. Physiol.*, 64A: 543-547.

HIGUERA, M. de la y CÁRDENAS, P.: 1985. Influence of dietary composition on gluconeogenesis from L-(U-¹⁴C) glutamate in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Comp. Biochem. Physiol.*, 81A(2): 391-395.

HILTON, J. W. y ATKINSON, J. L.: 1982. Response of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) to increased levels of available carbohydrate in practical trout diets. *Br. J. Nutr.*, 47: 597-607.

HILTON, J. W.; ATKINSON, J. L. y SLINGER, S. J.: 1983. Effect of increased dietary fiber on the growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 40(1): 81-85.

HOFER, R. y STURMBAUER, C.: 1985. Inhibition of trout and carp α -amylase by wheat. *Aquaculture*, 48: 277-283.

INABA, D.; OGINO, C.; TAKAMATSU, C.; UEDA, T. y KUROKAWA, K.: 1963. Digestibility of dietary components in fishes-II. Digestibility of dietary protein and starch in rainbow trout. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 29(3): 242-244.

JAUNCEY, K.: 1982. The effects of varying dietary protein level on the growth, food conversion, protein utilization and body composition of juvenile tilapias (*Sarotherodon mossambicus*). *Aquaculture*, 27: 43-54.

JOBLING, M.: 1980. Gastric evacuation in plaice, *Pleuronectes platessa* L.: effects of dietary energy level and food composition. *J. Fish. Biol.*, 17: 187-196.

JOBLING, M.: 1981. Dietary digestibility and the influence of food components on gastric evacuation in plaice, *Pleuronectes platessa* L. *J. Fish Biol.*, 19: 29-36.

KITAMIKADO, M. y TACHINO, S.: 1960. Studies on the digestive enzymes of rainbow trout. I. Carbohydrases. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fis.*, 26: 679-684.

KITAMIKADO, M.; MORISHITA, T. y TACHINO, S.: 1964. Digestibility of dietary protein in rainbow trout. II. Effect of starch and oil contents in diets and size of fish. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 30(1): 50-54.

LEGER, C.; LUQUET, P. y BOUDON, M.: 1975. Effets de la suppression des glucides dans l'alimentation de la truite arc-en-ciel a la température de 10 °C. II. Evolution des compartiments corporels avec référence particulière aux acides gras des familles w9, w6, et w3. *Ann. Hydrobiol.*, 6(1): 71-93.

LEGER, C.; LUQUET, P. y BOUDON, M.: 1976. Effets de la suppression des glucides dans l'alimentation de la truite arc-en-ciel a la température de 16 °C. II. Evolution des compartiments corporels avec référence particulière aux acides gras des familles w9, w6 et w3 et influence d'un changement de température. *Ann. Hydrobiol.* 7(2): 185-201.

LEGER, C. y FREMONT, L.: 1981. Métabolisme des acides gras et des lipides neutres. En: Nutrition des Poissons. Actes du Colloque C.N.E.R.N.A., Paris May 1979. Ed. M. Fontaine, p: 215-247.

LIKIMANI, T. A. y WILSON, R. P.: 1982. Effects of diet on lipogenic enzyme activities in channel catfish hepatic and adipose tissue. *J. Nutr.*, 112: 112-117.

LUQUET, P.; LEGER, C. y BERGOT, F.: 1975. Effets de la suppression des glucides dans l'alimentation de la truite arc-en-ciel a la température de 10 °C. I. Croissance en fonction du niveau d'ingestion protéique. *Ann. Hydrobiol.* 6(1): 61-70.

LUQUET, P. y BERGOT, F.: 1976. Evaluation des divers traitements technologiques des céréales. VII. Utilisation de maïs pressé, floconné, expansé et extrudé dans l'alimentation de la truite arc-en-ciel. *Ann. Zootech.* 25(1): 63-69.

LUQUET, P.: 1976. Alimentation protéique et alimentation énergétique des poissons de mer. *Oceanis*, 2(5): 131-139.

MAZID, M. A.; TANAKA, Y.; KATAYAMA, T.; RAHMAN, M. A.; SIMPSON, K. L. y CHICHESTER, C. O.: 1979. Growth response of *Tilapia zillii* fingerlings fed isocaloric diets with variable protein levels. *Aquaculture*, 18: 115-122.

Mc LAREN, B. A.; HERMAN, E. F. y ELVEHJEM, C. A.: 1946. Nutrition of rainbow trout: studies with purified rations. *Arch. Biochem.* 10: 433-441.

ratio on the growth, feed conversion and body composition of young yellowtail. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 41(4): 443-447.

TAKEUCHI, T.; WATANABE, T. y OGINO, C.: 1979. Studies on nutritive value of dietary lipids in fish-XVI. Availability of carbohydrate and lipid as dietary energy sources for carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 45(8): 977-982.

WALTON, M. J.: 1986. Metabolic effects of feeding a high protein/low carbohydrate diet as compared to a low protein/high carbohydrate diet to rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Fish Physiol. Biochem.*, 1(1): 7-15.

WINFREE, R. A. y STICKNEY, R. R.: 1981. Effects of dietary protein and energy on growth, feed conversion efficiency and body composition of *Tilapia aurea*. *J. Nutr.* 111: 1001-1012.

YONE, Y.: 1976. Nutritional studies of red sea bream. Proc. First Intern. Conf. Aquaculture Nutrition, Newark, Delaware. University of Delaware, edits, K.S. Price, Jr., W. N. Shaw & K. S. Danberg, pp. 39-64.

ZAMORA, S. y BLANCO, C.: 1986. Requerimientos energéticos de los teleósteos. En: IV Congreso Mundial de Alimentación Animal, Madrid, España. PS IV-3, p. 207-213.

La energía en la nutrición de los peces

C. YOUNG CHO

Fisheries Branch
Ontario Ministry of Natural Resources
and
Department of Nutritional Sciences, University of Guelph
Guelph, Ontario, Canada, N1G 2W1

1. Introducción

La vida existe como un estado termodinámicamente inestable, cuya continuidad depende del equilibrio existente entre la incorporación de energía con los alimentos y la producción de calor consecuente a los procesos de mantenimiento. Así, si la dieta proporciona menos energía de la que el animal necesita para mantener sus procesos vitales y soportar sus actividades voluntarias, además del alimento, se catabolizarán los tejidos corporales. Adicionalmente, los animales necesitan energía para el crecimiento, la reproducción y la actividad física general.

La cantidad de energía que un animal necesita depende de la etapa del ciclo biológico en que se encuentra, de la estación y de las condiciones ambientales. Los animales jóvenes, en crecimiento, necesitan para su mantenimiento más energía, por unidad de peso corporal, que los maduros, aunque, en estos, las necesidades energéticas se pueden ver temporalmente incrementadas debido a los procesos reproductores.

La temperatura ambiente juega un papel obvio en el nivel de energía que los homeotermos necesitan para mantener su propia temperatura corporal, pero ejerce un papel aún más importante en el caso de los animales poiquilotermos, tales como los peces, en los que la tasa metabólica puede variar ampliamente en respuesta a cambios en la temperatura del agua.

La bioenergética o energética nutricional consiste en el estudio de este balance entre aporte dietario de energía, gasto y ganancias y requiere de un examen de los procesos fisiológicos por los que la energía se transforma dentro de los organismos vivos.

La energía disipada por los animales en forma de calor se mide por *calorimetría*, que es la técnica general utilizada para medir el flujo de calor entre dos cuerpos. LAVOISIER (1783), basó su conclusión, clásica, de que la vida es un proceso de combustión: «La respiration c'est donc une combustion», sobre medidas simultáneas del flujo de calor y del consumo de oxígeno. Sus observaciones constituyen la base para la fundación de la nutrición moderna. BRODY (1945) revisó la evidencia de que la bioenergética está gobernada por las Leyes de la Termodinámica y demostró que, en su esencia, la vida se mantiene sobre procesos físicos.

El catabolismo del alimento dentro del animal está dispuesto para conservar la energía libre que será usada en los procesos anabólicos y de mantenimiento de la vida. Los mecanismos fisiológicos que lo consiguen son de una complejidad extrema, pero permiten el catabolismo de una variedad infinita de moléculas alimenticias mediante el uso de un número finito de los sistemas enzimáticos que aparecen en los animales (KREBS y KORNBERG, 1957).

En el siglo XIX una serie de nutriólogos que trabajaban en la Estación Experimental Agrícola de Weende, en Alemania, reconocieron que los componentes de los alimentos que realizan una contribución significativa al aporte de energía al animal, podían ser caracterizados como tres principios moleculares: proteínas, grasas e hidratos de carbono. La estequiometría de la oxidación de estas tres clases de compuestos permite el cálculo de la energía liberada como calor, a partir de medidas del intercambio respiratorio, el consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono, junto con la de excreción urinaria de nitrógeno. Este método de medida de la producción de calor es conocido como *calorimetría indirecta*. RUBNER (1884) confirmó la validez de esta aproximación a la calorimetría, demostrando que el calor producido por un perro igualaba al calor de combustión de la grasa y la proteína catabolizadas, menos el calor de combustión de la orina, siendo ésta el vehículo de excreción de los productos nitrogenados, incompletamente oxidados, del catabolismo de las proteínas.

Los animales usan la energía no solo para mantener sus procesos vitales sino también para realizar actividad física. El efecto incremental que diversos niveles de trabajo físico ejercen sobre la producción de calor y la oxidación de sustratos, fue estudiado por ATWATER y BENEDICT (1903) mediante el uso de sujetos humanos trabajando con bicicletas ergométricas.

El crecimiento, o sea, la formación de nuevos tejidos, requiere de un aporte de energía no sólo para los propios

componentes del nuevo tejido (su calor de combustión) sino también para mantener los procesos anabólicos implicados en la elaboración de esos nuevos componentes. La medida del costo energético de los procesos de crecimiento, particularmente en las explotaciones ganaderas y en los peces en cautividad, es de una gran importancia práctica. KLEIBER (1975) revisó recientemente la metodología utilizada y los resultados obtenidos.

EGE y KROGH (1914) aplicaron a los peces los principios de la bioenergética, en tanto que IVLEV (1939) extendió esos estudios a la carpa. Más recientemente, se han realizado estudios sobre la utilización y gasto de la energía por varias especies de peces (SPOOR, 1946; BRETT, 1962; WARREN y DAVIS, 1967; NIIMI y BEAMISH, 1974; CHO *et al.*, 1976; SMITH *et al.*, 1978a, b y CHO y KAUSHIK, 1985).

Desafortunadamente, muchas de estas investigaciones con peces se han ocupado del coste energético de la natación y han ignorado ampliamente tanto el nivel de ingesta como el tipo de dieta. De forma característica, estos estudios medían el consumo de oxígeno por un pez que nadaba involuntariamente sin haber comido o tras una única comida previa. El cálculo de la producción de calor medido a partir del consumo de oxígeno bajo estas circunstancias, en las que una fracción indefinida del calor producido sería debida al catabolismo de los componentes de la dieta, consiguiéndose el equilibrio a partir de la degradación de los tejidos corporales, impide el establecimiento definitivo de los costes de la natación cuando el pez se encuentra en su ambiente natural o bajo las condiciones empleadas en las instalaciones de cultivo intensivo.

3.1. Digestibilidad

La primera tarea a efectuar a la hora de valorar el potencial de una materia prima dada, cuando se considera su inclusión en una dieta, es medir su digestibilidad. Resulta difícil separar las heces del pez del agua y evitar su contaminación con dieta no ingerida. Este problema ha necesitado del uso de técnicas muy distintas de las utilizadas para medir la digestibilidad en mamíferos y aves. NOSE (1960) recogía muestras del contenido rectal por medio de opresión manual suave del pez. WINDELL *et al.* (1978) obtenían muestras del contenido rectal por succión a través del ano o mediante disección del pez. La obtención de heces por cualquiera de estos métodos implica una manipulación del pez y un considerable estrés. Por otra parte, la evacuación forzada del recto provoca la adición a las heces de fluido y de epitelio intestinal.

son alimentados normalmente, realizándose un muestreo repetido durante 6-9 días (fig. 1).

Las heces se centrifugan a 10.000 xg durante 20 minutos, descartándose el sobrenadante. A continuación se liofilizan y se muelen para proceder a la determinación de la concentración de óxido de cromo, nutrientes (materia seca, nitrógeno y grasa), así como del contenido de energía bruta.

Una serie de ocho de estas unidades permite la determinación de la digestibilidad, en cualquier momento, de hasta siete ingredientes, dedicándose una de las unidades a la dieta de referencia. Esto nos permite examinar la influencia del tamaño del pez, el de la ración o el de la temperatura del agua, sobre la digestibilidad del alimento. Los peces se encuentran bajo un régimen de cultivo similar al desarrollado en otros experimentos de nutrición, permitiendo así la aplicación de estándares de laboratorio a las determinaciones de digestibilidad basadas en los niveles de ingesta y las ganancias de peso de los peces.

Las ventajas del «Sistema GUELPH» residen en que permiten que los peces se alimenten normalmente, en que no hay necesidad de manipulaciones de los mismos y en que permite determinaciones repetitivas, pudiendo evaluarse varias dietas diferentes al mismo tiempo, a partir de observaciones de la digestibilidad aparente, tasa de crecimiento y análisis de carcass. Una crítica al modelo puede basarse en que parte del material soluble de las heces se perdería debido a los fenómenos de «leaching». Sin embargo, el estrecho parecido entre los valores de digestibilidad de materia seca, proteína bruta y lípidos, obtenidos por los métodos basados en disección intestinal y recogida del contenido rectal por succión y los hallados usando la columna de sedimentación, indican que el «leaching» no constituye una fuente importante de error. La causa principal del «leaching» es la «ruptura» de las partículas fecales que resulta de la manipulación física implicada en su separación del agua (pérdidas por manipulación), que deberá ser evitada al máximo.

Muy pocos de los ingredientes alimentarios potencialmente útiles pueden ser consumidos voluntariamente cuando se consideran como componentes únicos de una dieta, por lo que es necesario combinar una mezcla de los mismos a la hora de formular una dieta. Así, la determinación de la digestibilidad de un alimento requiere de la comparación de una dieta referencia, con la dieta test que no es sino una mezcla de la dieta referencia y el ingrediente que se va a probar (tabla 1). La inclusión de un 1 % de óxido de cromo, como un indicador de la digestión, en la dieta de referencia o control, permite que los coeficientes de digestibilidad de la energía y de los

TABLA 1
Dieta de referencia para Salmónidos
(Cxo et al., 1985)

Ingredientes	%
Harina de pescado, arenque o caplin (>68 % proteína; <13 % cenizas)	30
Harina de soja (48 % proteína, 3 % fibra)	17
Harina de gluten de maíz (60 % proteína, 3 % fibra)	13
Tercerilla (17 % proteína, 8 % fibra)	27
Premezcla de vitaminas (VIT-8404)	1
Premezcla de minerales (MIN-8204)	1
Oxido de cromo	1
Acete de pescado, arenque o caplin	10

Dietas experimentales

	Dieta de referencia	(%)	Dieta experimental
Dieta de Referencia	100		70
Ingrediente experimentado	0		30

Coefficiente de digestibilidad aparente (CDA):

CDA de la dieta de referencia o de la dieta experimental = $1 - (F/D \times Dcr/Fcr)$

CDA del ingrediente experimental = (CDA de la dieta experimental - 0,7 CDA de la dieta de referencia)/0,3

Donde

D = % de nutriente en la dieta

F = % de nutriente en heces

Dcr = % de óxido de cromo en la dieta

Fcr = % de óxido de cromo en heces

nutrientes sean determinados a partir de la medida de las relaciones nutriente/indicador en dieta y heces. EDIN (1918) introdujo el uso del óxido de cromo como un indicador que obviaba la necesidad de cuantificar la ingesta y la eliminación de heces. AUSTRENG (1978) confirmó lo adecuado de este procedimiento a la hora de medir digestibilidad en peces. Una vez que se han calculado estos coeficientes para la dieta control, se pueden calcular los correspondientes coeficientes de digestibilidad para la energía y los nutrientes en el ingrediente que está siendo probado.

El uso de una dieta control asume que no se producen interacciones, durante la digestión, entre los distintos componentes de la dieta. Asimismo, la adopción de este procedimiento permite la preparación de una dieta, adecuadamente equilibrada, para valorar la susceptibilidad de una materia prima a la digestión. En las determinaciones llevadas a cabo usando dietas control y dietas sustituidas, la

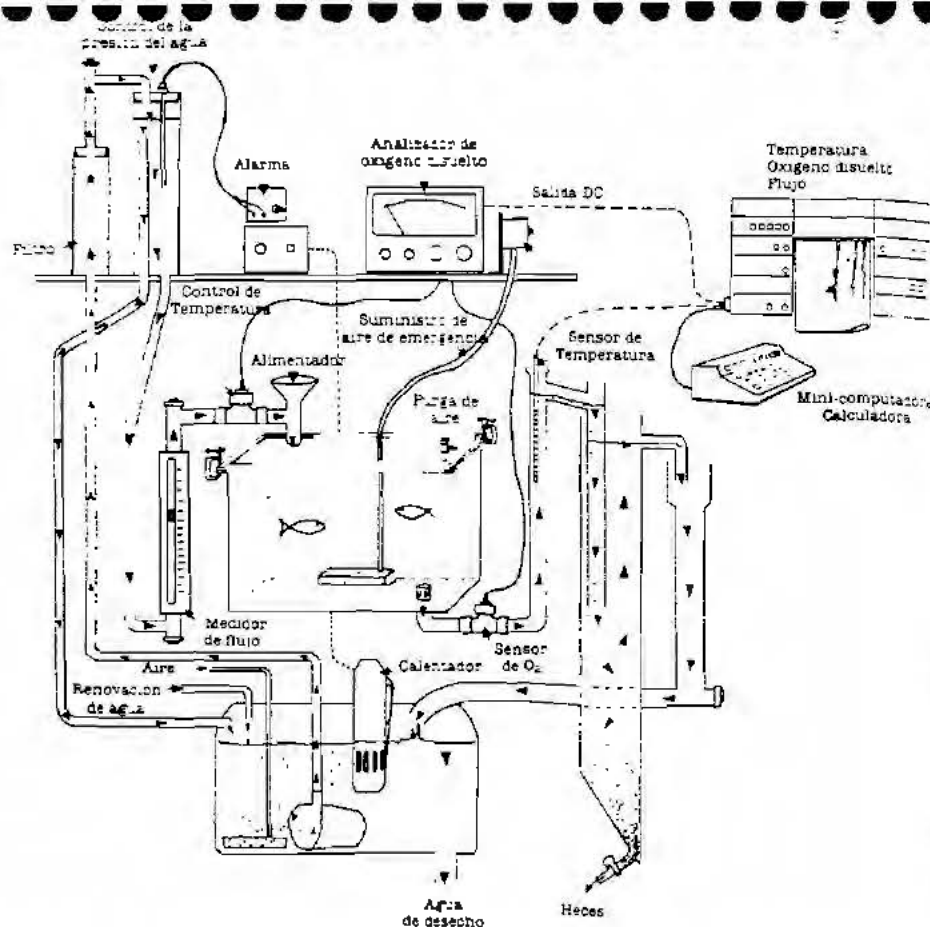


Fig. 2. Respirómetro automático para peces, CYAQ-1, equipado con un tanque de peces, columna de sedimentación de heces e instrumentos para medir consumo de oxígeno y temperatura del agua (Cho et al. 1975, 1982).

similares a los descritos para la recogida de heces. Los tanques se cubren para evitar cualquier intercambio de oxígeno entre la superficie del agua y la atmósfera. El agua de entrada es aireada o desaireada usando aire, oxígeno o nitrógeno, para mantener constante el nivel de oxígeno disuelto, independientemente de la temperatura, en un tanque reservorio y de mezcla situado por debajo de los tanques de los peces y desde donde es bombeada a los mismos a través de un filtro y un flujómetro.

La diferencia en el contenido de oxígeno entre el agua que entra y sale de los tanques, multiplicada por el flujo, nos

indica el grado de consumo de oxígeno por los peces. Las señales de salida del medidor de oxígeno, del flujómetro y del termómetro son suministradas a un minicomputador que monitoriza y procesa los datos cada minuto. En caso de fallo del equipo, una línea de aire de emergencia, controlada por una válvula solenoide, puede aportar el aire necesario para mantener a los peces.

La tabla 2 muestra los parámetros operativos para el sistema; el diseño de 14 días permite una semana de observación de los peces en alimentación, seguida por tres días de ayuno a fin de establecer los valores basales para cada determinación. Al final de cada una de ellas, se retiran los peces del sistema, que se pone en marcha de nuevo durante un día más con el fin de medir la demanda bioquímica de oxígeno del mismo.

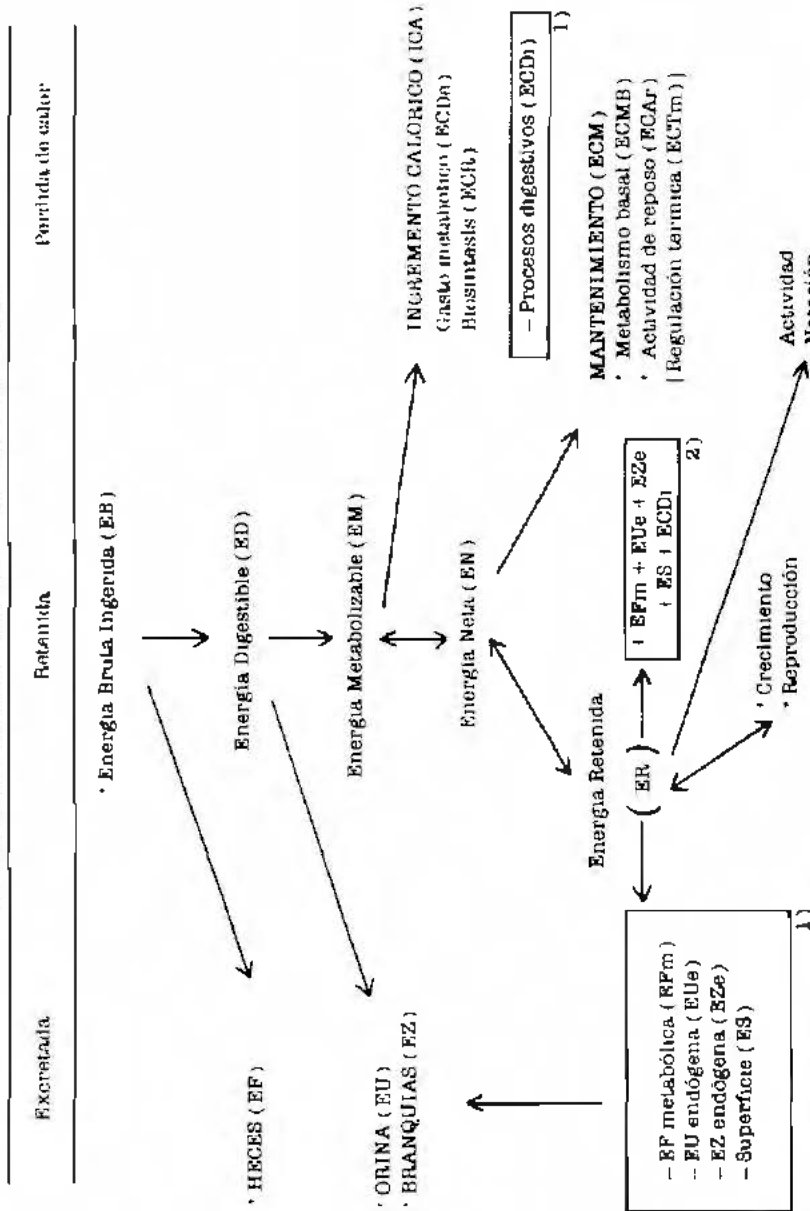
TABLA 2
Condiciones experimentales para la respirometría
(Cho et al., 1982)

Pez	= Trucha arco iris
Nivel de actividad	= Descanso
Peso corporal inicial	= 15-150 g/pez
Biomasa total	= 3 Kg $\pm$ 10 %
Volumen de agua	= 30 l (50x30x20 cm.)
Flujo de agua	= 3-8 l/min
Control de la temp. del agua	= $\pm$ 0.1°C
D.O. en agua de entrada	= 9 ± 0.2 mg/l independientemente la temperatura del agua
Iluminación	= 300 lux - 24 h/día
Alimentación	= Próximo saciedad/3-4 comidas/día
Recopilación de Datos	= 1320 lecturas de computadora en 22 h/día
Período experimental	= 3 días de ajuste 7 días de alimentación 3 días de ayuno 1 día de lectura de DBO.

La medida del balance energético mediante el uso de un respirómetro pueden constituir una importante contribución a las valoraciones nutritivas de distintas fórmulas dietarias. A menudo, dietas con niveles similares de nutrientes y energía digestibles tienen distinto rendimiento, pudiendo ser una explicación para tales diferencias las diversas tasas de producción de calor de las mismas.

3.4. Análisis comparativo de la carcass

Para propósitos prácticos, puede no ser útil determinar las pérdidas no fecales y la producción de calor, a la hora de



1) Puede ser medida directamente

2) Reposición continua de las pérdidas corporales

Fig. 3. Presentación esquemática del destino de la energía de la dieta, indicando las pérdidas de energía que tienen lugar durante la digestión y utilización del alimento y la energía que es retenida por el animal (Chou et al. 1982).

ligeras en el valor de la energía bruta. Obviamente, la concentración de minerales (cenizas) del alimento influye en el contenido de energía bruta, dado que los componentes inorgánicos no son combustibles. Esto puede explicar algunas de las diferencias existentes entre ciertos tipos de alimento: por ejemplo, las harinas de pescado utilizadas en la preparación de piensos comerciales pueden variar ampliamente en su contenido en cenizas y, así, en su índice de energía bruta.

4.2. Energía digestible (ED)

Antes de que los componentes de un alimento puedan servir como combustibles para los peces, deben ser digeridos y absorbidos en el tracto digestivo. Algunos componentes del alimento resisten a los procesos digestivos y una gran proporción de los mismos pasa por el tubo digestivo para ser eliminada con las heces. La energía que podría haber sido liberada a partir del material fecal es designada como *energía fecal* (EF). La diferencia entre la energía bruta del alimento y la energía bruta contenida en las heces procedentes de una cantidad unitaria de ese alimento, constituye la llamada *energía digestible* (ED); en un alimento bien digerido, la energía digestible se aproximará al valor de la energía bruta.

Las heces son una mezcla de alimento no digerido y de residuos de origen corporal no reabsorbidos. Estos residuos son los restos de células mucosales, enzimas digestivos y otras secreciones vertidas al tubo digestivo junto con residuos de la microflora que reside en el propio tubo. Los residuos que no proceden directamente del alimento ingerido, sino de las actividades metabólicas del animal, son designados con el término de *residuos metabólicos*. El calor de combustión de estos materiales representa una pérdida de energía debida al proceso digestivo, pero no derivada del alimento. Esta energía es conocida como *energía metabólica fecal* (EMF) y depende de las características del alimento y del nivel de ingesta del mismo. En la práctica, los animales en ayunas eliminan cantidades tan pequeñas de heces que la energía fecal de origen metabólico resulta de escasa significación para los animales que reciban niveles normales de alimento (GUILLAUME y SUMMERS, 1968). No obstante, permite la descripción de valores de energía digestible «corregida» o «verdadera» (un término equivoco) que serán mayores que los de energía digestible «aparente».

Energía digestible «aparente» (EDA) = EB - EF

Energía digestible «corregida» = EB - (EF - EMF)

4.3. Energía metabolizable (EM)

La digestión de una dieta conduce a la absorción de aminoácidos, ácidos grasos y azúcares que son los principales combustibles metabólicos del cuerpo. El catabolismo de las grasas y los carbohidratos provoca la formación de agua y dióxido de carbono, productos completamente oxidados del hidrógeno y el carbono, respectivamente. Sin embargo, el catabolismo de los aminoácidos conduce a la formación de amoníaco, además de dióxido de carbono y agua, siendo la eliminación de ese amoníaco o de su producto de detoxificación, urea, una pérdida de material combustible por parte del pez. La pérdida de estos compuestos, por vía branquial (EZ) o renal (EU), significa que el valor de energía digestible de una dieta sobreestima su valor energético real para el pez. El nivel energético fisiológicamente disponible de la dieta es el conocido como *energía metabolizable* (EM), que se define como sigue:

$$EM = EB - (EF + EZ + EU) \quad (\text{ver fig. 3})$$

La pérdida de material combustible en las heces depende de la susceptibilidad de los componentes del alimento a los procesos de digestión y absorción en el tracto digestivo del pez, existiendo pocas interacciones, de alguna significación, entre los ingredientes alimentarios de una dieta que puedan influir sobre su digestibilidad. Así pues, la energía digestible de una materia prima es relativamente independiente de la composición de la dieta en la que se incluye. En contraste, la pérdida de material combustible a través de las branquias, o en la orina, depende del valor biológico de la proteína total y de su cantidad, en relación con la energía digestible de la dieta que, a su vez, depende de la proporción en que las diferentes materias primas se incluyan en la dieta. En consecuencia, el valor de energía metabolizable de un alimento en una dieta determinada no es independiente de la composición de ésta, dado que es el equilibrio global de los aminoácidos y energía de la dieta el que influye sobre la retención de proteínas por el cuerpo y, por tanto, el que gobierna la pérdida de productos nitrogenados a través de branquias o con la orina.

La variación debida a las diferencias en la excreción de nitrógeno que se derivan del consumo de dietas-mezcla puede ser tomada en consideración midiendo el nitrógeno excretado y calculando, entonces, la retención de nitrógeno como la diferencia entre ingesta y excreción de nitrógeno.

Existe cierta controversia, entre los expertos en nutrición animal, sobre la utilidad de los valores de energía digestible y de energía metabolizable, como medio para comparar el

contenido energético para el animal de diferentes ingredientes alimentarios. Los valores de energía metabolizable han sido elegidos por los nutriólogos que trabajan con aves por una simple razón práctica, que no es otro que estos animales eliminan heces y orina conjuntamente. Durante las dos últimas décadas estos valores han sido usados como base para la predicción de los efectos que, sobre la «productividad», pueden tener cambios en las formulaciones dietarias. En explotaciones avícolas, la cuantificación de los índices de energía metabolizable de ingredientes y dietas es relativamente simple.

En mamíferos, cerdos por ejemplo, la medida de energía metabolizable requiere el análisis separado de heces y orina. En la mayoría de las fórmulas usadas que contienen un nivel proteico normal para cerdos existe una relación constante entre los índices de energía digestible y metabolizable (DIGGS et al., 1965), representando la metabolizable un 95 % de la digestible. Por tanto, el trabajo experimental extra implicado en la determinación de la energía metabolizable para cerdos no parece estar justificado.

La determinación de los valores de energía metabolizable de las dietas para peces resulta técnicamente difícil, dada la necesidad de cuantificar tanto las pérdidas branquiales como urinarias. Sin embargo, SMITH (1971) intentó superar estas dificultades y desarrolló un procedimiento que permite la estimación de la energía metabolizable de un número de materias primas, utilizando trucha arco iris de 165-530 g de peso corporal. Antes de los ensayos, los peces fueron anestesiados para permitir la inserción de una cánula para la recogida de la orina. Luego, los peces fueron confinados en un tanque con un tabique que separa las partes anterior y posterior del cuerpo, y se alimentaron forzosamente con la dieta experimental en un régimen de una sola comida diaria.

Los valores de energía metabolizable determinados por este procedimiento, como fracción de la energía digestible, variaban de 0,62 a 0,93 (media = 0,87). Esto muestra que para la mayoría de las materias primas, se excretó por branquias y orina una proporción mucho mayor de energía alimentaria que la excretada en la orina de los cerdos.

Es normal que el pienso para cerdos contenga de un 13 a un 18 % de proteínas, niveles netamente inferiores al 35-50 % que suelen ser comunes en las dietas para diversas especies de salmónidos. Por tanto, una gran parte de la ingesta energética de los peces es proporcionada por compuestos nitrogenados lo que conduce a la necesidad de excretar amoníaco. Más del 85 % del nitrógeno originado en

donde

$$ICA = ECDe + ECR + ECDi \quad (\text{ver Fig. 3})$$

La base bioquímica principal para el incremento calórico es la energía requerida para la desaminación de los aminoácidos ingeridos y excretados (ECDe) (KLEIBER, 1975). Los gastos energéticos asociados con la ingestión y digestión del alimento (ECDi) son muy pequeños en comparación con los asociados con el trabajo metabólico (ECDe - ECR) (BRODY, 1945). La base fisiológica de esta producción de calor incrementada, incluye los procesos post-absortivos relacionados con el alimento ingerido, particularmente con los alimentos ricos en proteínas, y el trabajo metabólico requerido para la formación de los productos de excreción nitrogenados, así como para la síntesis de proteínas y grasas tisulares a partir de los sustratos recién absorbidos tales como aminoácidos o ácidos grasos.

La Fig. 4 enfatiza la importancia de la contribución de las proteínas al incremento acalórico. Dietas con un 6 % de grasa y un 30 o un 47 % de proteína digestible, provocaron tasas similares de consumo de oxígeno. Sin embargo, el incremento del nivel graso en la dieta más pobre en proteínas provocó una reducción sustancial en el consumo de oxígeno, lo que constituye el efecto clásico de la grasa sobre el incremento calórico, mientras que tal incremento en la dieta de alto nivel proteico no tuvo prácticamente efecto alguno sobre el consumo de oxígeno, presumiblemente debido al trabajo asociado con el mayor influjo de aminoácidos, proporcionado por esta dieta (CHO, 1982 y CHO et al., 1982).

Se han realizado diversos estudios, en peces, encaminados a separar los aspectos bioquímicos del ICA de aquellos de naturaleza física o mecánica, propios de la alimentación y la digestión.

Estos estudios implicaban «comidas ficticias» o la alimentación con materiales no digeribles tales como caolina o celulosa.

Una dieta estándar para *Micropterus salmoides* fue diluida 1:5 con celulosa, registrándose los efectos que volúmenes crecientes de comida, tanto de dieta estándar como diluida, tenían sobre el incremento calórico de la alimentación. La diferencia entre la producción de calor resultante de los dos tipos de alimento es conocida como «ADE mecánica» (TANDLER y BEAMISH, 1979). Esta representaba entre el 10 y el 30 % del incremento total de calor, asumiendo este estudio que los efectos de la dieta estándar y la celulosa en la dieta diluida sobre el ICA eran aditivos. SMITH et al. (1968b) con la trucha arco iris y

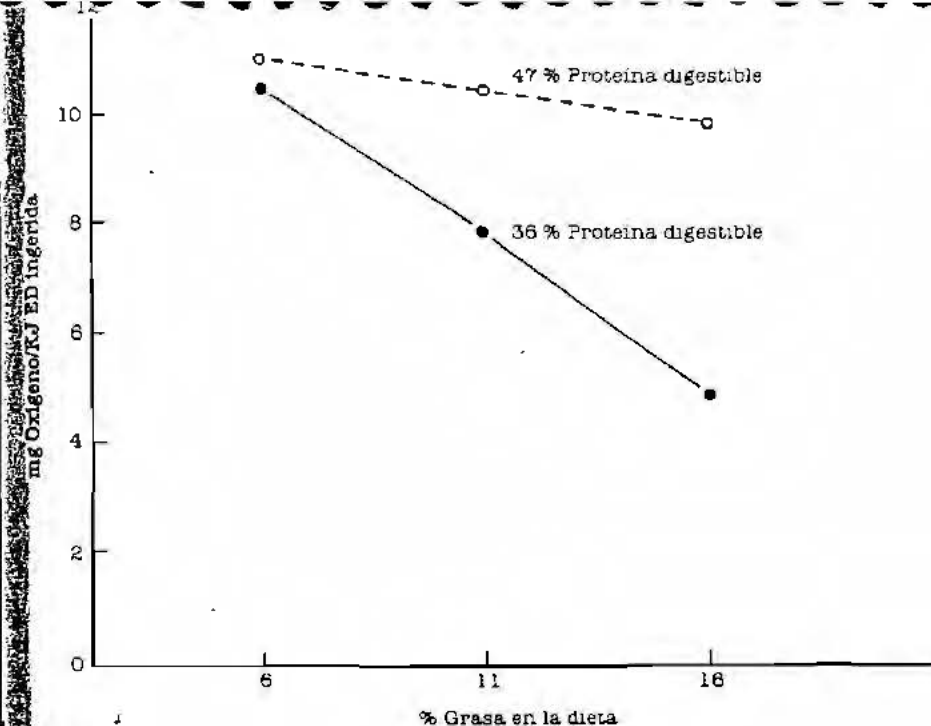


Fig. 4. Influencia de los niveles de proteína y grasa de la dieta sobre el consumo de oxígeno (incremento calórico) de la trucha arco iris (CHO et al. 1982).

JOBLING y DAVIES (1980) con la platija, encontraron que ni la alimentación ficticia ni la caolina incrementaban la tasa metabólica basal de sus peces. En estudios con trucha arco iris, CHO y SLINGER (1980) encontraron que la alimentación ficticia incrementaba la producción de calor, pero solo alrededor del 1-2 % del incremento observado cuando el animal se alimentaba normalmente.

Un efecto claro, derivado de proporcionar alimento a un pez en ayunas, es un incremento en la actividad física, pero la magnitud de este efecto en relación con los efectos fisiológicos de una ingesta «normal» de comida, dependen del procedimiento experimental empleado. La alimentación ficticia mínima en comparación con la correspondiente al uso de la dieta «diluida», baja en proteína, usada por TANDLER y BEAMISH.

Desde su introducción por RUBNER (1902), el término «Acción Dinámica Específica» del alimento ha causado confusión, pero su idea fue útil dado que demostró que el

composición de la dieta, es dudoso que el esfuerzo necesario para efectuar un fraccionamiento correcto del metabolismo de la alimentación en sus respectivos componentes, esté justificado». Esta es un área de la bioenergética de los peces que necesita de un estudio cuidadoso, para demostrar la magnitud total del ICA bajo los diversos regímenes nutritivos y de temperaturas en que se cultivan los peces.

Los datos de la tabla 6 muestran que un incremento de la temperatura del agua de 7,5 a 15 °C redujo a la mitad la proporción de la energía digestible disipada como calor, lo que nos sugiere que este área necesita de un estudio más profundo.

5.2. Requerimientos energéticos para el mantenimiento ($ECM = ECMB + ECTm + ECAv$)

Los peces requieren de un aporte continuo de energía para aquellas funciones necesarias para el mantenimiento de la vida, independientemente de que el animal esté o no consumiendo alimento. Un pez privado de alimento obtiene esta energía catabolizando las reservas corporales de proteína y grasa; sin embargo, en el pez alimentado, este requerimiento de energía para el mantenimiento es suplido por la dieta, obviándose así el catabolismo de los tejidos corporales. Entre los requerimientos para el mantenimiento, una parte importante de la energía se gasta en el metabolismo basal (ECMB), regulación de la temperatura corporal (ECTm) en el caso de los homeotermos y, una porción más pequeña, en la actividad involuntaria o de reposo (ECAr) tal como la implicada en los movimientos corporales menores o en la actividad muscular mínima.

Por definición, la tasa metabólica basal es el nivel mínimo de gasto energético requerido para mantener vivo al animal, siendo esta la fracción de máxima prioridad dentro de los requerimientos de mantenimiento. La tasa metabólica basal se mide cuando el animal se encuentra en la fase post-absortiva, en un estado de reposo muscular y a una temperatura ambiente termoneutra. La definición de la tasa metabólica basal en los peces elimina esta última condición pero hace necesario especificar a qué temperatura se ha realizado la medición de la tasa metabólica.

BRETT (1972) mostró que los requerimientos de mantenimiento en los poiquilotermos eran de 10 a 30 veces más bajos que los de los mamíferos, que mantienen la temperatura corporal a 35 °C. Resulta más difícil asegurar

que los peces se encuentran en un estado de reposo muscular, dada la necesidad que tienen de mantenerse orientados dentro del agua lo que conlleva cierta actividad muscular. Así, el metabolismo basal puede ser medido por extrapolación a actividad cero de la obtenida con peces nadando a diferentes velocidades. Sin embargo, en peces, como la trucha arco iris, que pasan largos períodos de tiempo en reposo en el fondo de los tanques, el mantenimiento de la posición en aguas tranquilas puede ser llevado a cabo con una actividad mínima. El gasto energético del pez en ayunas y en estas condiciones puede ser considerado como muy próximo al metabolismo basal.

Existen diversas informaciones sobre la medida de la tasa metabólica basal en peces. CHO et al. (1976) encontraron que la trucha arco iris en reposo y en ayunas, a 15 °C, liberaba 59-63 kJ/kg por día como calor, lo que equivale a 40 kJ/kg de peso corporal elevado a la potencia 0,824. Estas medidas se realizaron con grupos de peces cuyos pesos se encontraban dentro del rango 96-145 g. SMITH et al. (1978a) estudiaron la trucha arco iris y encontraron que la producción de calor a 15 °C era de 204 kJ/kg de peso corporal a la potencia 0,75, para peces de 1 a 57 g en los que es mucho mayor, pero similar a la producción de calor en ayunas de mamíferos de 57 g (NRC-NAS 1983).

Las variaciones en la temperatura del agua tienen un gran efecto sobre la producción de calor en ayunas por los peces. CHO y SLINGER (1980) midieron la producción de calor en ayunas por la trucha arco iris (de peso vivo entre 47 y 136 g) a temperaturas de 7,5, 10 y 15 °C (Tabla 6). La temperatura del agua tuvo su efecto máximo entre 7,5 y 10 °C, conduciendo tal incremento a una duplicación en la producción de calor. El incremento ulterior de la temperatura a 15 °C produjo un incremento adicional del 50 % en la tasa de producción de calor.

5.3. Crecimiento y retención de energía

La energía metabolizable ingerida con un alimento y que no es disipada en producción de calor es retenida en el cuerpo en forma de nuevos elementos tisulares. En los animales en crecimiento, parte de la energía retenida es almacenada como proteína y parte como grasa, pero a medida que el animal se acerca a su tamaño maduro, una proporción creciente de la energía retenida es almacenada como grasa; la importancia relativa de los depósitos proteico y graso depende de un gran número de factores, además de la madurez del animal.

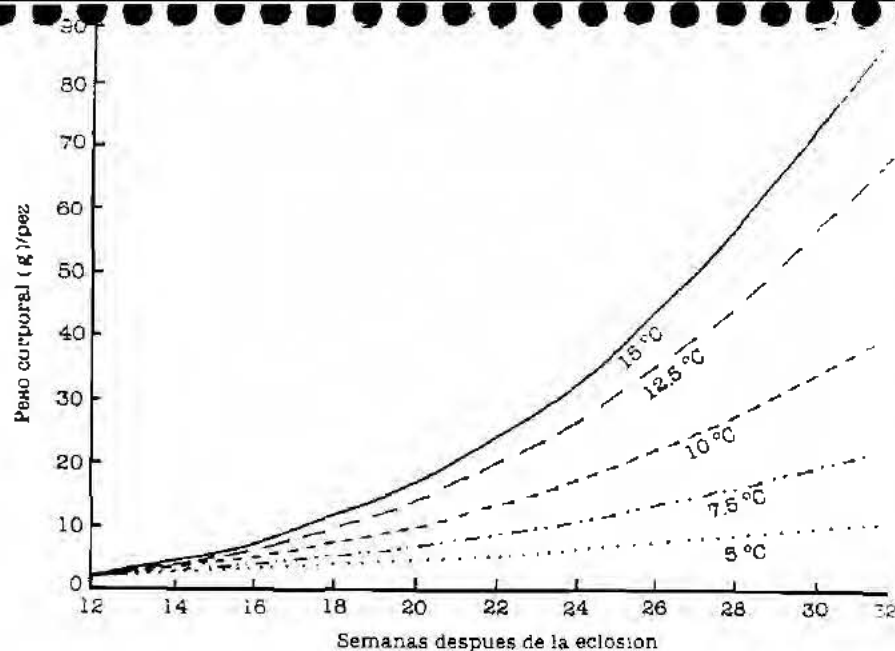


Fig. 5. Influencia de la temperatura del agua sobre el crecimiento de la trucha arco iris, bajo condiciones ambientales similares y recibiendo la misma dieta (Cho *et al.* 1985/IDRC-233e).

dieta. Los regímenes de cultivo que procuren altos niveles de ingesta de alimento mediante la provisión de dietas bien equilibradas y en una forma estable y fácilmente «capturable» por el pez, así como unas condiciones que minimicen el estrés sufrido por los peces, promoverán un crecimiento más rápido y, por tanto, una mayor eficacia neta en la retención de energía que los regímenes que carezcan de alguna de esas condiciones.

6. Requerimientos energéticos de los peces con especial referencia a la trucha arco iris

Los peces necesitan la energía de la dieta para mantener sus procesos vitales y para producir tejidos nuevos, lo que constituye la base del crecimiento y la reproducción. Los requerimientos cuantitativos de energía varían con la temperatura del agua, la especie, el tamaño, la edad, las actividades físicas y fisiológicas, la composición de la dieta, etc.

Hasta el momento, disponemos de muy pocas estimaciones cuantitativas sobre las necesidades dietarias de energía que sean aplicables a las condiciones de producción y, por otra parte, la mayoría de ellas se refieren a salmónidos, particularmente a la trucha arco iris.

La información disponible sobre la influencia de la edad, el ejercicio, factores ambientales y salinidad, etc., sobre las necesidades energéticas es de naturaleza muy académica, siendo las cantidades de energía manejadas insignificantes para las condiciones propias de la acuicultura.

Las necesidades energéticas son cubiertas por todos los componentes energéticos de la dieta (proteínas, grasas e hidratos de carbono). Estas fuentes dietarias de energía química son, en parte, catabolizadas a energía calorífica para cubrir los requerimientos de mantenimiento y, el resto, es retenida en los tejidos.

Sin embargo, el requerimiento más importante es el de la energía necesaria para el mantenimiento de los procesos vitales, dado que los tejidos corporales son catabolizados para cubrir este requerimiento de energía calorífica en el caso de que el aporte dietario sea insuficiente. Por tanto, desde un punto de vista práctico, la necesidad mínima de energía es, primariamente, la requerida para satisfacer las demandas de mantenimiento. La energía, a diferencia de lo que ocurre para los diversos nutrientes, no presenta unos requerimientos mínimos recomendados para la producción como tal, dado que cualquier exceso de energía química (por encima de los requerimientos), proporcionado por los nutrientes energéticos, puede ser almacenado como proteína y grasa en el cuerpo. No obstante, este exceso de energía debe guardar un apropiado equilibrio entre proteína, grasa e hidratos de carbono de la dieta para maximizar la eficacia del crecimiento y la reproducción.

La estimación del requerimiento energético para el mantenimiento (ECM) se basa en la producción de calor en ayunas medida por el consumo de oxígeno o por análisis comparativo de composición corporal (Ver sección 3.4). La producción de calor en ayunas consiste en el gasto de energía derivado del metabolismo basal y de la actividad voluntaria que constituyen aproximadamente el 70 % de la producción total de calor (EC). El incremento de calor de la alimentación (ICA), para una ración de mantenimiento, es aproximadamente un tercio del incremento total de calor, siendo el resto (dos tercios) la porción del incremento calórico dedicado a ganancia productiva.

La comprensión de esta trama general de la energética de peces permite la construcción de un modelo cuantitativo tal como se muestra en la tabla 7 para 10 peces que crecen de

poormente digestible provoca un aumento en la excreción de heces que polucionarán el ambiente acuático.

En contraste, los requerimientos de energía total para producir 1 kg de peces es relativamente independiente de la temperatura del agua, ya que al aumentar esta, se consume más energía y, en concordancia, aumenta la tasa de incremento de peso. Más aún, peces con composición corporal similar y con tasa metabólica parecida tienen unos requerimientos energéticos similares en condiciones de cultivo intensivo.

En la práctica, el cálculo de las necesidades de energía y su reparto para una especie de pez, se puede realizar de una manera relativamente simple (ver tabla 3), en comparación con lo que ha sido descrito previamente en la literatura.

El cálculo realizado en la tabla 7, incluso aunque sea menos preciso de lo que podría desearse, está basado, al menos, en datos experimentales reales y es, por tanto, mucho más realista que los valores empíricos tomados a ciegas a partir de publicaciones diversas.

TABLA 8

Niveles recomendados de energía y proteína en las dietas para salmónidos.
(Cho 1983).

Ingesta de energía bruta	17-20 MJ/kg de pienso
Energía digestible*	14-17
Energía metabolizable	13-16
Proteína digestible	22-25 g
por MJ de energía digestible	

El nivel de energía y proteína puede ser ajustado de acuerdo con la temperatura del agua y la velocidad de crecimiento prevista.

*Incluye 4-7 MJ de energía de origen lipídico (aceite de pescado) por Kg de pienso

Los niveles recomendados de energía y de relaciones proteína/energía para dietas de salmónidos se muestran en la tabla 8 (CHO, 1983). Estos niveles han sido utilizados para truchas de lago, pardas, arco iris, «brook» y salmónes «coho» y «chinook» en Ontario, Canadá, durante muchos años. Para simplificar la formulación dietaria, se dan los niveles recomendados por unidad física de alimento. No obstante, los piscicultores deberán considerar los requerimientos de energía biodisponible y nutrientes a la hora de determinar las cantidades diarias a suministrar.

7. Nivel energético de la dieta y requerimientos totales de alimento

Dado que la ingesta de alimento está controlada principalmente por el peso corporal, el aumento esperado, la temperatura del agua y el contenido energético de la dieta; la primera etapa a la hora de estimar los requerimientos alimentarios, sobre una base racional, es predecir la ganancia de peso esperada en un periodo de tiempo dado, bajo una temperatura determinada y en unas condiciones de calidad y manipulación concretas. IWANA y TAUTZ (1981) informaron de un modelo de crecimiento

TABLA 9

Predicción de crecimiento y estimación de consumo de pienso.
(Cho et al., 1985).

1. Constante de temperatura (CT)
Peso corporal inicial = P_i (g/pez)
Peso corporal final = P_f (g/pez)
(Este valor se calcula con datos de años precedentes de crecimiento y está influido por la genética, dieta, calidad de agua y otros varios factores de práctica de manejo, por tanto ha de ser revisado y recalculado para cada lote de peces).
$$CT = \frac{\sum (\text{Temp. } (^{\circ}\text{C}) \times \text{días})}{P_f^{1/3} - P_i^{1/3}}$$
2. Peso corporal vivo previsto (P_f).
$$P_f (g) = \left(P_i^{1/3} + \frac{\sum (\text{Temp. } (^{\circ}\text{C}) \times \text{días})}{CT} \right)^3$$
3. Incremento total de peso vivo previsto (ITPe).
$$ITPe (g) = (P_f - P_i) \times n.^{\circ} \text{ de peces.}$$
4. Consumo total de pienso previsto (CTPi):
$$CTPi (kg) = \frac{0.015 \times ITPe (g)}{\text{MJ ED por Kg de pienso}}$$
5. Estimación de la energía digestible de la dieta (ED).
(Se asume que los nutrientes están equilibrados en base a energía digestible)
Opciones:
a) Obtenerla de la fórmula o del fabricante.
b) Calcular la ED de la dieta usando la tabla 4 y
37 MJ/Kg de aceite de pescado o vegetal
33 MJ/Kg grasa animal
c) Aproximar los valores de ED de la dieta con
40 % proteína/10 % grasa — 14 MJ/Kg dieta
40 % proteína/15 % grasa — 16 MJ/Kg dieta
45 % proteína/10 % grasa — 15 MJ/Kg dieta
45 % proteína/15 % grasa — 17 MJ/Kg dieta

* Modificado según IWANA y TAUTZ (1981). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38, 649 Ver tablas 10 y 11 para ejemplo de cálculo.

predicción de peso corporal y el incremento de peso vivo calculado, junto con la cantidad de alimento a suministrar (CHO et al., 1985).

La constante de temperatura (CT) de una operación de cultivo de peces debe ser calculada a partir de registros de años anteriores en la asunción de que factores tales como raza genética, régimen dietario, temperatura del agua y otras prácticas de manejo no hayan cambiado de manera sustancial.

La energía digestible (ED) de una dieta puede calcularse a partir de la información sobre la composición de la misma contenida en la tabla 4. De otra forma, el contenido en ED de una dieta, se puede calcular basándose en los niveles de proteína y grasa, tal como se indica en la tabla 9 (5c). En la tabla 10 se muestran modelos de cálculo y, para facilitar los mismos, se listan, en la tabla 11, las potencias un tercio para los pesos corporales comprendidos entre 1 y 499 g.

Una vez que se han calculado la ganancia de peso vivo y la cantidad de alimento a suministrar para el próximo período de 4 semanas, el alimento es distribuido en una base semanal de acuerdo con la tasa de crecimiento (tabla 10, (5). No obstante, este proyecto de cantidades de alimento a suministrar debe ser tomado únicamente como una guía.

La mayoría de las cartas de alimentación hoy disponibles son modificaciones «de despacho» de las primitivas guías de alimentación desarrolladas para dietas basadas en carne semiseca/harina seca. Se debe ser prudente a la hora de aplicar estas cartas a las modernas dietas, que tienen más altos contenidos en energía y nutrientes.

En último caso, será el propio animal el que determine la cantidad de energía y nutrientes apropiados para satisfacer sus necesidades, incluso aunque los nutriólogos formulen la densidad y el equilibrio de energía y nutrientes de la dieta. Por lo tanto, el cálculo científico de la cantidad de alimento a suministrar a los peces, será únicamente una aproximación dirigida a asegurar una acuicultura económica y con éxito.

BIBLIOGRAFÍA

ATWATER, W.O. y BENEDICT, F.G.: 1903. Experiments on the metabolism of matter and energy in the human body. U.S. Dept. of Agr. Bull. 136.

AUSTRENG, E.: 1978. Digestibility determination in fish using chromic oxide marking and analysis of contents from different segments of the gastrointestinal tract. *Aquaculture* 13, 265-272.

BENEDICT, F.G. y EMMES, L.E.: 1912. The influence upon metabolism of non-oxidizable materials in the intestinal tract. *Amer. J. Physiol.* 30, 197.

BLAXTER, K.L.: 1967. The energy metabolism of ruminants. 332 p. Hutchinson Scientific and Technical, London.

BORSOOK, H.: 1936. The specific dynamic action of protein and amino acids in animals. *Bio. Rev.* 11, 147-180.

BRAFIELD, A.E. y LLEWELLYN, M.J.: 1982. *Animal Energetics*. Blackie & Son Ltd., Glasgow. 168 p.

BRETT, J.R.: 1962. Some considerations in the study of respiratory metabolism in fish, particularly salmon. *J. Fish. Res. Board Can.* 19, 1025-1038.

BRETT, J.R.: 1972. The metabolic demand for oxygen in fish, particularly salmonids and a comparison with other vertebrates. *Respir. Physiol.* 14, 151-170.

BRETT, J.R. y GROVES, T.D.D.: 1979. Physiological energetics. In: *Fish Physiology Vol. VIII* ed. por HOAR et al., p. 279-352. Academic Press, New York.

FARRELL, D.J.: 1974. General principles and assumptions of calorimetry. In: *Energy Requirements of Poultry*, p. 1-24. British Poultry Science Ltd.

FORSTER, R.P. y GOLDSTEIN, L.: 1969. Formation of excretory Products. In: *Fish Physiology Vol. I* p. 313-350 ed. por W.S. HOAR y D.J. RANDALL. p. 313-350. Academic Press, New York.

GUILLAUME, J. y SUMMERS, J.D.: 1970. Maintenance energy requirement of the rooster and influence of plane of nutrition on metabolizable energy. *Can. J. Anim. Sci.*, 50, 363-369.

HUNN, J.B.: 1981. Urine flow rate of fresh water of salmonids: A mini-review. *Prog. Fish-Cult.*

IVLEV, V.S.: 1939. Energy balance in the carp. *Zoll. Zh.* 18, 303-318.

JOBLING, M. y DAVIES, P.S.: 1980. Effects of feeding on metabolic rate, and the specific dynamic action in plaice, *Pleuronectes platessa* L. *J. Fish. Biol.* 16, 629-638.

KLEIBER, M.: 1975. The fire of life. Robert E. Kleiber Publishing Co., New York. 453 p.

KREBS, H.A. y KORNBERG, H.L.: 1957. Energy transformations in living matter. Springer-Verlag, Berlin.

LAVOISIER: 1783. Memoire sur la chaleur. Memoires, de l'Academie Royale des Sciences, Paris. p. 355-408.

MARTIN, A.K. y BLAXTER, K.L.: 1965. The energy cost of urea sythesis in sheep. In: *Energy Metabolism* Ed. K.L. BLAXTER. p. 83-91, Academic Press, New York.

MEDLAND, T.E. y BEAMISH, F.W.H.: 1985. The influence of diet and fish density on apparent heat increment in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture* 47,1-10.

NIIMI, A.J. y BEAMISH, F.W.H.: 1974. Bioenergetics and growth of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) in relation to body weight and temperature. *Ca. J. Zool.* 52, 447-456.

NOSE, T.: 1960. On the digestion of food protein by gold fish (*Carassius auratus* L.) and rainbow trout (*Salmo irideus* G.). *Bull. Freshwater Fish. Res. Lab.* 10, 23-28.

NRC-NAS: 1981a. Nutritional energetics of domestic animals and glossary of energy terms. 2nd rev. ed. National Academy Press, Washington, D.C. 54 p.

NRC-NAS: 1981b. Nutrient requirements of coldwater fishes. Nutrient requirements of domestic animals. No. 16. National Academy Press, Washington, D.C. 63 p.

NRC-NAS: 1983. Nutrient requirements of warmwater fishes and shellfishes. Nutrient requirements of domestic animals. Revised Edition. National Academy Press, Washington, D.C. 102 p.

OGINO, C.; KAKINO, J. y CHEN, M.S.: 1973. Determination of metabolic fecal nitrogen and endogenous nitrogen excretion of carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 39, 519-523.

O'HARA, J.: 1971. A continously monitored respiration chamber for fish. *Water Res. Pergamon Press.* 5, 143-145.

PIERCE, R.J. y WISSING, T.E.: 1974. Energy cost of food utilization in the bluegill. *Trans. Am. Fish. Soc.* 103, 38-45.

PULLAR, J.D. y WEBSTER, A.J.F.: 1977. The energy cost of fat and protein deposition in the rat. *Br. J. Nutr.* 37, 355-363.

RUBNER, M.: 1894. Die Quelle der thierischen Warme. *Biol.* 30. 73-142.

RUBNER, M.: 1902. Die Gesetze des Energieverbrauchs bei der Ernahrung, Leipzig und Wien, Deutiche.

Requerimientos vitamínicos de los peces

R. T. LOVELL

Department of Fisheries and Allied Aquacultures
Auburn University, Alabama, USA

0. Introducción

Las vitaminas son compuestos orgánicos requeridos en cantidades muy pequeñas, y obtenidos a partir de fuentes exógenas, tales como la dieta o la síntesis microbiana intestinal, necesarios para el crecimiento y funcionamiento normal de los animales. Los peces tienen requerimientos similares a los de los animales terrestres, con la excepción de que también necesitan vitamina C (ácido l-ascórbico). Las quince vitaminas que se relacionan en la tabla 1 han sido establecidas como esenciales en las dietas de los peces; sin embargo, no todos los peces necesitan la totalidad de estas 15 vitaminas. La trucha necesita las quince (NRC, 1981), y el pez gato necesita todas menos inositol (NRC, 1983). Algunas de las vitaminas del grupo B son sintetizadas por las bacterias intestinales en los peces de agua caliente, como tilapia, que no presenta requerimiento de la vitamina B₁₂ (LOVELL y LIMSUNAN, 1982).

Las investigaciones iniciales del Cortland Hatchery (actualmente Tunison Fish Nutrition Laboratory) del United States Fish and Wildlife Service, mediante la manipulación de dietas prácticas, demostraron que existían ciertos factores de crecimiento que eran necesarios en las dietas de salmónidos para un crecimiento normal (TUNISON, 1942). MCLAUREN *et al.* (1947) utilizaron, por primera vez, dietas purificadas para determinar cualitativamente los requerimientos vitamínicos de los peces. Más tarde, HALVER (1957) utilizó este método para determinar las vitaminas esenciales para el salmón. Otros investigadores también han utilizado este método para evaluar las necesidades vitamínicas de varias especies cultivadas, dejando de incluir en la dieta purificada una vitamina determinada, una cada vez; los síntomas de deficiencia de las vitaminas en varias

C[C@H]1C=CC(C)(C)CCC1/C=C/C(C)=C/C=C/C(C)=C/C=C/C(C)=C/C=C/C(C)=C/C=C/C(C)=C/C=C/C(C)=C/C=C/C(C)=C/C=C/C(C)=C/C=C/C(C)=C

β-саголено

Los peces deficientes en vitamina A, de la especie *Salmo gairdneri*, presentaron la reducción de la velocidad de crecimiento, decoloración de la piel, ascitis (fluido en la cavidad abdominal), y alteraciones patológicas de los ojos, caracterizadas por exoftalmia, desplazamiento de las lentes oculares, reducción del espesor de la córnea y degradación de la retina, en los salmónidos. Los peces gato al ser alimentados con una dieta deficiente en vitamina A, durante un período largo de tiempo (dos años), desarrollaron exoftalmia, edemas en varios tejidos y hemorragias en los riñones. Los signos de deficiencia de vitamina A, que aparecieron en la carpa común fueron: anorexia, poca coloración de la piel, hemorragias en aletas y cola, exoftalmia y deformación de los opérculos branquiales.

La vitamina A, como cualquier otra vitamina liposoluble, se almacena en grandes cantidades en el cuerpo si la ingestión excede de las necesidades metabólicas. El órgano principal de almacenamiento es el hígado. La capacidad de almacenamiento de vitamina A en los peces es tan grande, que pueden llegar a desarrollar un estado tóxico (hipervitaminosis), sin embargo, para llegar a producir esta situación de toxicidad, en condiciones prácticas normales, sería necesario el consumo prolongado de dietas con niveles excesivamente altos de vitamina A.

2. Vitamina E

Cc1cc(C)c(O)cc1C2CC(C)OC2CCCC(C)CCCC(C)CCCC(C)CCCC(C)C

α -tocofero:



Fig. 2A. Sección sagital de músculo blanco lateral de animales control (125 mg α -tocoferol/Kg de dieta) (Azan, $\times 300$).

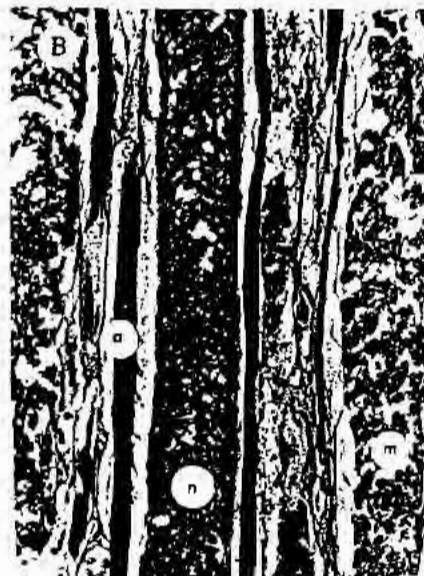


Fig. 2B. Sección sagital de músculo blanco lateral de peces alimentados con una dieta pobre en ácidos grasos poliinsaturados y deficiente en α -tocoferol y etoxiquina, con miopatía nutricional severa. Se observan fibras atrofiadas (a) y necrosadas (n) e infiltración de macrófagos en las fibras necrosadas (m) (Azan, $\times 300$).



Fig. 3. La evaluación histológica puede detectar deficiencias nutricionales marginales en los peces. Esta sección transversal del músculo blanco lateral de pez gato alimentado con 25 mg α -tocoferol/Kg de dieta, muestra fibras necrosadas (n) indicativas de una ligera miopatía (H & E, $\times 1000$), aunque el crecimiento y el aspecto externo de los animales sea normal.

tocoferol, granos completos, harina de pescado y aceites de semillas extraídos por solventes, son sólo fuentes de escaso aporte y necesitan ser suplementadas con vitamina E, para la alimentación de los peces. Los aditivos de alfa-tocoferol, para los piensos, se venden en forma de acetatos, que son relativamente estables contra la oxidación.

3. Vitamina D

La vitamina D se encuentra en dos formas: ergocalciferol (D_2) y colecalciferol (D_3). La irradiación ultravioleta de dos provitaminas, ergosterol, que se encuentra en las plantas y

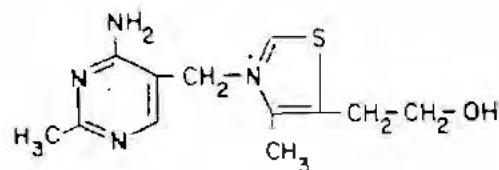
las proteínas necesarias para la coagulación de la sangre, dependen de la vitamina K para su síntesis. Estas incluyen la protrombina, proconvertina, antecesor de la tromboplastina del plasma y el factor de Stewart-Prower. La función de la vitamina K, en la síntesis de la protrombina, es la de cofactor de la carboxilación del ácido glutámico para formar ácido gamma-carboxiglutámico en la proteína activa. Se han encontrado otras proteínas en hueso y riñón que contienen ácido gamma-carboxiglutámico y se presume que la vitamina K está relacionada con su síntesis. Cuando se administra un antagonista de la vitamina K, tal como el dicumerol, estas proteínas que contienen ácido gamma-carboxyglutámico disminuyen.

Cuando se alimentó al pez gato con dietas purificadas, carentes de vitamina K, se observaron hemorragias. La trucha necesita de vitamina K, en la dieta, para la síntesis de protrombina y proconvertina. La velocidad del crecimiento no fue afectada en ninguno de estos peces cuando la vitamina K fue suprimida de las dietas.

Los requerimientos cuantitativos de las necesidades de vitamina K no han sido determinados para peces de agua caliente. Niveles de 0,5 a 1 mg de menadiona por Kg de dieta son suficientes, para mantener una coagulación normal de la sangre, en truchas jóvenes. Las formas comerciales de la vitamina K son bisulfato sódico de menadiona y menadiona dimetilpirimidinol bisulfito, siendo el último más estable bajo condiciones de fabricación y almacenamiento de piensos.

5. Tiamina

La tiamina se compone de un anillo de pirimidina y otro de tiol, como se muestra en la fórmula. Es relativamente sensible a la temperatura y humedad, a pH superior a 5, y así, la vitamina comercial se vende en forma de hidrocloreuro para garantizar su estabilidad. La forma activa de la vitamina es la de tiamina pirofosfato. La fosforilación tiene lugar en el hígado.



Tiamina

La tiamina pirofosfato actúa como coenzima en varias descarboxilaciones (separación del CO₂) metabólicas. Está relacionada con la descarboxilación del ácido pirúvico y del ácido alfa-cetoglutarico en el metabolismo de los hidratos de carbono y de los lípidos. Afecta la activación de la transcetolasa de los tejidos para el metabolismo de la glucosa, a través del shunt de las pentosas fosfato. La actividad de la transcetolasa en los eritrocitos y riñones es un indicador sensible, del status de la tiamina en la trucha arco iris.

La deficiencia de tiamina afecta el sistema nervioso central de los peces, aves y mamíferos. La polineuritis de los pollos (falta de control de la posición de la cabeza) y la parálisis de Chastek en visones y zorros están causadas por la deficiencia de tiamina. La deficiencia de tiamina en los peces empieza por una anorexia y reduce la velocidad de ganancia de peso, posteriormente prosigue con desórdenes neurológicos. Hipersensibilidad a las molestias, pérdida de equilibrio y convulsiones han sido observadas en varias especies de peces, alimentados con dietas sin tiamina. Los peces dan muestras de la deficiencia de tiamina rápidamente: el pez gato en 6 u 8 semanas, la carpa en 8 semanas y la anguila japonesa en 10 semanas.

La tiaminasa se encuentra en los tejidos de la mayoría de los peces, y puede destruir la vitamina separándola en los dos anillos que la componen. Calentando el pescado antes de comerlo se destruye la enzima. Cuando los peces gato son alimentados con dietas que contienen el 40 % de vísceras de pescado no calentados desarrollan una deficiencia de tiamina en 10 semanas, pero cuando los peces reciben a diario una dieta separada que contiene tiamina, la deficiencia no tiene lugar.

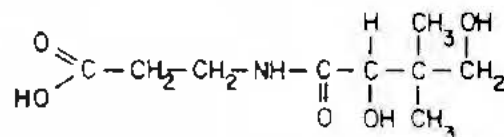
La tiamina se encuentra en la mayoría de los granos de cereales completos y está especialmente concentrada en la corteza de la semilla. La forma comercial de la tiamina es un hidrocloreuro o mononitrato. Las necesidades de tiamina en la dieta son de 0,5 a 10 mg/Kg de pienso, dependiendo de la especie y de la cantidad de hidratos de carbono de la dieta, ya que tanto uno como otro factor parecen afectar las necesidades de tiamina.

6. Riboflavina

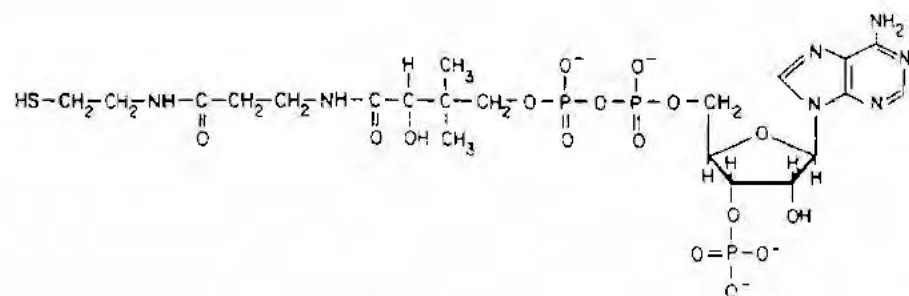
La riboflavina es un componente de dos coenzimas, flavin-mononucleótido (FMN) y flavin-adenin-dinucleótido (FAD), que son oxidasas y reductasas de grupos prostéticos que

8. Ácido Pantoténico

La única función que se le conoce al ácido pantoténico es la de ser un componente del coenzima A (CoA) que toma parte en la transferencia de los grupos acil (2-carbones) en numerosas reacciones del metabolismo de las proteínas, hidratos de carbono y lípidos. La aceptación de los grupos acil se hace a través del grupo sulfidrilo de la beta-mercaptometilamina. El CoA está relacionado con una diversidad de reacciones catabólicas y anabólicas. Algunas son: (1) oxidación del piruvato, ácidos grasos y alfa-cetoglutarato y (2) síntesis de los ácidos grasos, colesterol, esfingosina, citrato y porfirina.



Ácido pantoténico



Coenzima A
(contiene ácido pantoténico)

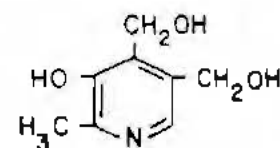
El ácido pantoténico es un componente esencial de la dieta de las aves, mamíferos monogástricos y peces. Su ausencia en la dieta se traduce en un fracaso total del crecimiento. Problemas de la piel y pelos son caracteres comunes de la deficiencia. La deficiencia de ácido pantoténico da como resultado un mal funcionamiento de las células, ricas en mitocondrias, de alto gasto de energía. La enfermedad nutricional de las branquias caracterizada por su retorcimiento, y fusión de las laminillas branquiales que están recubiertas de exudados, es un claro síntoma de

deficiencia de ácido pantoténico, en varios peces. Un gran gasto de energía tiene lugar en las branquias, lo que puede explicar el gran daño que sufren estos órganos bajo la deficiencia de ácido pantoténico. Esto también puede explicar las lesiones que se observan en el riñón y páncreas de las truchas de lago, deficientes en ácido pantoténico. (POSTON y PAGE, 1982.)

El ácido pantoténico es sintetizado por plantas y microorganismos. La levadura es especialmente rica en esta vitamina. En los granos, la cáscara de la semilla contiene las concentraciones mayores. En la naturaleza, difícilmente se encuentra en estado libre por su sensibilidad a la destrucción por el calor, o pH alto o bajo. Se comercializa en forma de sal sódica o cálcica.

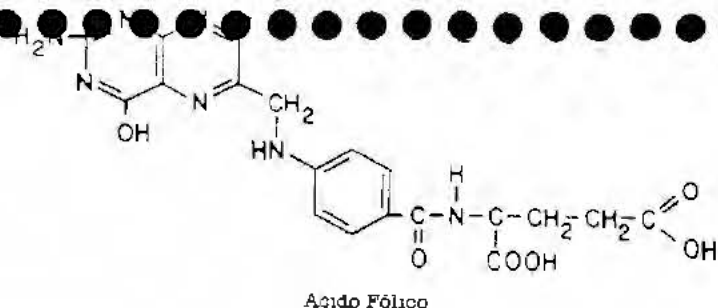
9. Piridoxina

Se han identificado tres compuestos químicamente relacionados, que tienen funciones metabólicas similares: piridoxina, piridoxamina y piridoxal. La piridoxina fue el primero identificado y recibió este nombre. Más tarde, los otros dos fueron identificados y se dio el nombre de B₆ a este grupo de compuestos. El coenzima metabólicamente activo de la B₆ es el piridoxal fosfato. La vitamina B₆ es necesaria en la dieta de todos los mamíferos monogástricos, aves y peces. Los compuestos de la B₆ son sintetizados por las plantas y algunos microorganismos. Se encuentra ampliamente distribuida en materias primas de origen animal y vegetal.



Vitamina B₆
(Piridoxina)

El piridoxal fosfato es funcional en gran cantidad de enzimas del metabolismo de las proteínas. Participa en la descarboxilación (separación del CO₂) y transaminación (transferencia del NH₂ a otros aceptores) de los aminoácidos. También está involucrada en otras enzimas del metabolismo de los aminoácidos, tales como las sulfohidrasas e hidroxilasas. Las dietas altas en contenido proteico, causan un aumento de las necesidades de la vitamina B₆ en la trucha y el salmón. La vitamina B₆



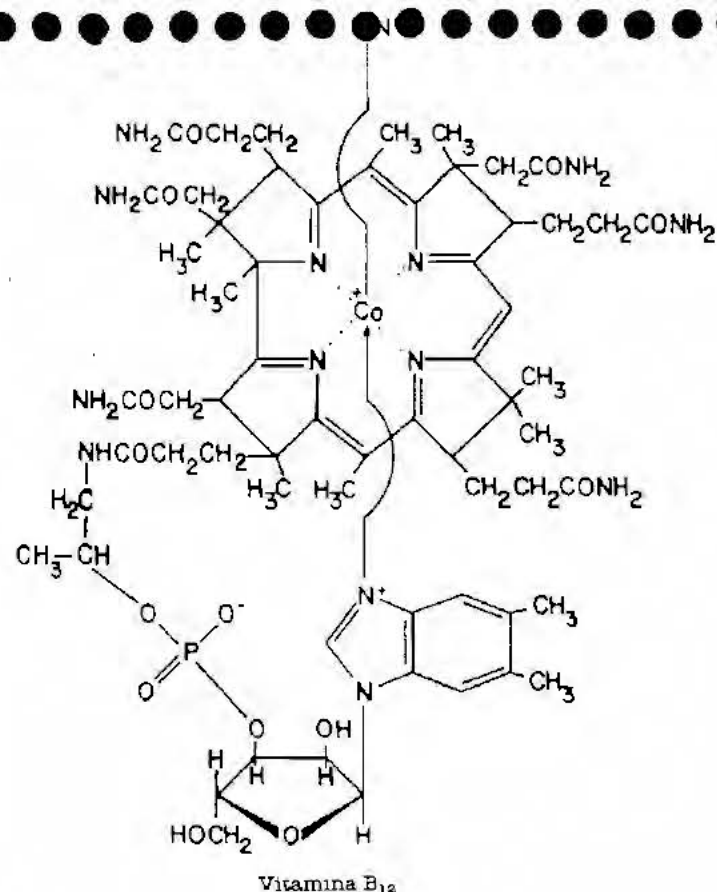
especies. SMITH y HALVER (1969) observaron palidez branquial, reducción de la producción de eritrocitos, eritrocitos inmaduros en la parte anterior del riñón y eritrocitos grandes y con formas anormales en la trucha. Sin embargo DUPREE (1966) no observó signos de deficiencia en los peces gato alimentados con dietas carentes de ácido fólico.

El ácido fólico se encuentra, en altas concentraciones, en los granos de cereales, por lo que no parece normal que pueda ser seriamente deficiente en la mayoría de los piensos. Se han encontrado bacterias y hongos que pueden romper el ácido fólico en sus componentes, ácido ptericoico y glutámico perdiéndose la actividad de ácido fólico; de hecho, el ácido ptericoico es antagonista del ácido glutámico.

12. Vitamina B₁₂

La vitamina B₁₂, o cianocobalamina, es sintetizada solamente por microorganismos. Sus funciones en el metabolismo incluyen colaborar con el ácido fólico en la transferencia de unidades simples de carbono tales como grupos metilo, para la síntesis de ácidos nucleótidos (DNA). Participa en la conversión del ácido tetrafolico a sus formas de coenzima, ácido folínico, y en el metabolismo del colesterol y la metionina. Es necesario para la maduración normal de los eritrocitos y su deficiencia metabólica causa anemia en peces y otros animales.

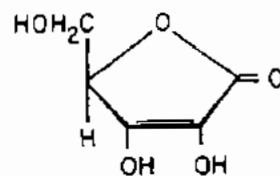
La deficiencia de la vitamina B₁₂ causa anemia en salmón y trucha, pero no en el pez gato y carpa. La síntesis intestinal de la vitamina parece ser una fuente importante en algunos peces. LIMSUWAN y LOVELL (1981) demostraron que los microorganismos intestinales sintetizaban vitamina B₁₂ en el pez gato y que al suprimir el cobalto (Co) en la



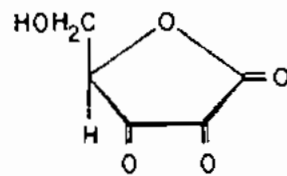
dieta, o suplementarla con un antibiótico (succinilsulfatiazol), reducía significativamente la velocidad de síntesis y el almacenamiento en el hígado de la vitamina. La presencia de vitamina B₁₂, radiomarcada, en la sangre, hígado, riñones y bazo de los peces que fueron alimentados con dietas que contenían Co radiactivo, indicaba que la vitamina sintetizada en el intestino era absorbida por los peces. La vía de absorción es directa desde el intestino a la sangre, ya que la coprofagia se evitaba en el acuario y la cantidad de vitamina B₁₂ disuelta en el agua era muy poca para poder ser absorbida por las branquias. KASHIWADA *et al.* (1970) aislaron bacterias del tracto intestinal de la carpa (*Cyprinus carpio*) y observaron que esos microbios podían producir varias vitaminas hidrosolubles, incluyendo B₁₂, in vitro.

15. Vitamina C

La mayoría de los peces y los crustáceos son muy sensibles a las deficiencias de vitamina C (ácido L-ascórbico) en la dieta, especialmente cuando son jóvenes. Los requerimientos de vitamina C, en los peces, parece que se reducen con la edad. SATO *et al.* (1978) observaron que truchas jóvenes (6 semanas), alimentadas con dietas libres de ácido ascórbico crecían lentamente y desarrollaban escorbuto, mientras que truchas mayores (19 meses) no presentaron ninguno de estos problemas. LI y LOVELL (1984) observaron que 69 mg/Kg de dieta era satisfactorio para el normal crecimiento y la salud de los peces gato jóvenes (10 g), y que 30 mg/Kg eran suficientes para los mayores (50 g).



Ácido Ascórbico



Ácido Dehidroascórbico

Una de las funciones principales del ácido ascórbico en el crecimiento y en la reparación de los tejidos es su función como mediador en la formación del colágeno, probablemente en la hidroxilación de la prolina. ASHLEY *et al.* (1975) vieron que truchas adultas inoculadas con ácido ascórbico marcado fijaban rápidamente el ácido ascórbico marcado (o sus metabolitos), en áreas donde el colágeno se estaba formando; piel, cartilago de soporte de las branquias, huesos y membranas de los huevos en desarrollo. Su descubrimiento, de que existe muy poca decarboxilación de ácido ascórbico durante el metabolismo de la trucha arco iris, está en contraste directo con el metabolismo en cobayas, pero es similar al del hombre, sugiriendo que los peces pueden ser mejor modelo que los cobayas para el estudio del metabolismo del ácido ascórbico en el hombre.

Síntomas clínicos, como reducción de la velocidad de crecimiento, deformación de la columna vertebral, distorsión del cartilago de soporte de las branquias, áreas hemorrágicas bajo la piel, depigmentación y lenta curación de las heridas, se han producido en varias especies de peces

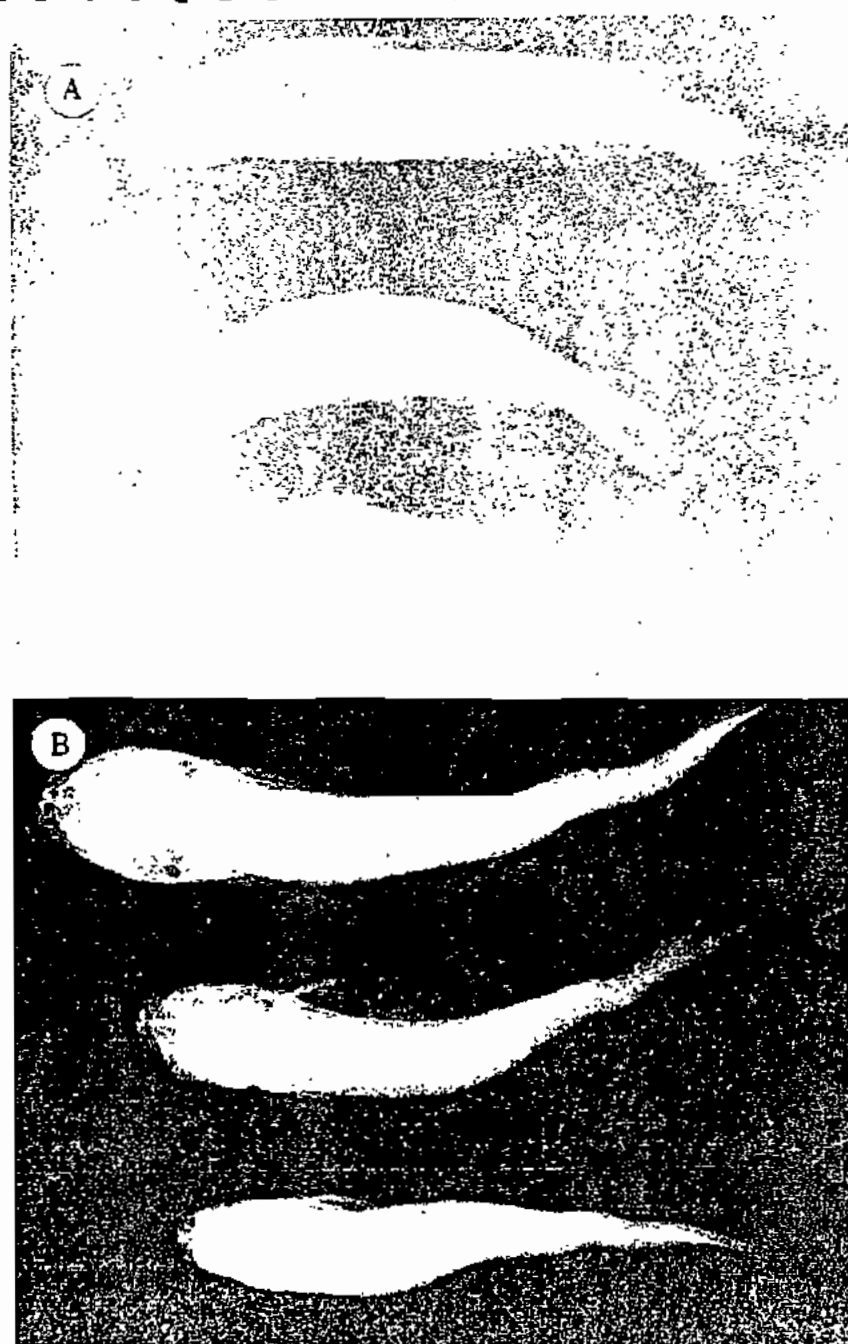


Fig. 4. Peces gato alimentados con dietas desprovistas de ácido ascórbico durante diez semanas. En 4A los peces muestran lordosis y en 4B escoliosis (curvatura vertical y lateral de la columna vertebral, respectivamente).

TABLA 2

Principales síntomas de deficiencia de vitaminas en peces

Vitamina	Pez gato	Trucha y Salmón	Carpa Común	Besugo o Dorada Japonesa	Anguila Japonesa
A	Mal crecimiento, Exoftalmia, Edema.	Mal crecimiento, Exoftalmia, Desplazamiento de lentes oculares, Expansión y adelgazamiento de la córnea, Degeneración de la retina, Edema, Ascitis, Depigmentación.	Mal crecimiento, Depigmentación, Opérculos retorcidos, Hemorragias en aletas y en cola.	—	—
D	Mal crecimiento, Ceniza en huesos baja	Mal crecimiento, Homeostasis del calcio desequilibrada, Tétanos del músculo blanco esquelético.	—	—	—
E	Mal crecimiento, Distrofia muscular, Diatesis exudativa, Depigmentación, Hígado graso.	Mal crecimiento, Anemia, Eritrocitos fragmentados de tamaños variables, Ascitis, Distrofia muscular, Peroxidación de lípidos, Aumento del agua corporal, Depigmentación.	Mal crecimiento, Lordosis, Exoftalmia, Distrofia muscular, Degeneración del riñón y del páncreas.	—	—
K	Hemorragias en piel	Coagulación lenta de la sangre, Anemia.	—	—	—

TABLA 2 (continuación)

Principales síntomas de deficiencia de vitaminas en peces

Vitamina	Pez gato	Trucha y Salmón	Carpa Común	Besugo o Dorada Japonesa	Anguila Japonesa
Tiamina	Mal crecimiento, Color oscuro, Pérdida de equilibrio, Nerviosismo.	Mal crecimiento, Hiperirritabilidad, Convulsiones, Pérdida de equilibrio, Actividad reducida de transcetolasa.	Congestión de aletas, Nerviosismo, Depigmentación, Hemorragias subcutáneas.	Mal crecimiento, Hemorragias subcutáneas, Congestión de aletas.	Torcimiento del tronco, Hemorragias subcutáneas, Congestión de aletas.
Riboflavina	Mal crecimiento, Cuerpo enano y corto	Mal crecimiento, Cataratas, Adhesión de lentes y córnea, Actividad reducida de glutatión reductasa, Pigmentación oscura	Mal crecimiento, Mortalidad, Hemorragias en músculo de corazón, Necrosis de la zona anterior del riñón.	Mal crecimiento.	Mal crecimiento, Dermatitis, Fotofobia, Hemorragias en aletas y abdomen.
Biotina	Mal crecimiento, Anemia, Depigmentación, Reducción de la piruvato carboxilasa.	Mal crecimiento, Degeneración de lamelas en Branquias, Lesiones en piel, Reducción de acetil-CoA y piruvato carboxilasas, Síntesis de ácidos grasos alterada, Hígado graso, Degeneración de las células acinares del páncreas.	Mal crecimiento, Aumento de las células de la mucosa dérmica.	—	Mal crecimiento, Natación anormal

actividad del complemento fueron significativamente suprimidas con la omisión del ácido ascórbico de la dieta. Existieron diferencias en la respuesta inmune cuando el nivel del ácido ascórbico aumentó de 30 a 300 mg/Kg, pero cuando se aumentó de 300 a 3.000 mg/Kg, los incrementos fueron significantes tanto en la producción de anticuerpos como en la actividad del complemento.

BIBLIOGRAFIA

ASHLEY, L. M.; HALVER, J. E. y SMITH, R. R.: 1975. Ascorbic acid deficiency in rainbow trout and coho salmon and effects on wound healing. In *The Pathology of Fishes*. W. E. RIBBIN y G. MIGAKI, eds. University of Wisconsin Press, Madison, WS., p. 769-786.

CASTLEDINE, A. J.; CHO, C. Y.; SLINGER, S. J.; HICKS, B. y BAYLEY, H. S.: 1978. Influence of dietary biotin level on growth, metabolism and pathology of rainbow trout. *J. Nutr.* 108: 698-711.

DUPREE, H. K.: 1966. Vitamins essential for growth of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. Technical Paper No. 7. Bureau of Sport Fisheries and Wildlife. Washington, D.C.

DURVE, V. S. y LOVELL, R. T.: 1982. Vitamin C and disease resistance in channel catfish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39: 948-951.

HALVER, J. E.: 1957. Nutrition of salmonid fishes. III. Water-soluble vitamin requirements of chinook salmon. *J. Nutr.* 62: 225-243.

HALVER, J. E.; SMITH, R. R.; TOLBERT, B. M. y BAKER, E. M.: 1975. Utilization of ascorbic acid in fish. *Ann. NY Acad. Sci.* 158: 81-102.

KASHIWADA, K.; TESHIMA, S. y KANAZAWA, A.: 1970. Studies on the production of B vitamins by intestinal bacteria of fish. V. Evidence of the production of vitamin B₁₂ by microorganisms in the intestinal canal of carp, *Cyprinus carpio*. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 36: 421-424.

KETOLA, H. G.: 1976. Choline metabolism and nutritional requirement of lake trout. *J. Anim. Sci.* 43: 474-477.

Requerimientos minerales de los peces

R. T. LOVELL

Department of Fisheries and Allied Aquacultures
Auburn University, Alabama, USA

1. Introducción

Los peces, probablemente necesitan los mismos minerales que los animales de sangre caliente, para la formación de los tejidos y para varios procesos metabólicos. Además, utilizan los elementos inorgánicos para mantener el equilibrio osmótico entre los fluidos corporales y el agua. Los minerales del agua pueden contribuir significativamente a las necesidades minerales de los peces, tales como el calcio. En la tabla 1 se muestran las necesidades del pez gato. Las determinaciones llevadas a cabo con otras especies, generalmente, están de acuerdo con estos valores.

TABLA 1
Requerimientos de varios minerales esenciales
en la dieta del pez gato

Elemento	Cantidad	Referencia
Fósforo, %	0,45	LOVELL, 1978
Magnesio, %	0,05	GATLIN <i>et al.</i> , 1982
Cinc, mg/Kg	20 o 150 ¹	GATLIN y WILSON, 1983
Selenio, mg/Kg	0,25	GATLIN y WILSON, 1984a
Manganeso, mg/Kg	2,4	GATLIN y WILSON, 1984b
Cobre, mg/Kg	5,0	GATLIN y WILSON, 1986a
Hierro, mg/Kg	30,0	GATLIN y WILSON, 1986b

¹ 20 mg/Kg es el requerimiento basal; se recomienda 150 mg/Kg en dietas prácticas de peces, para compensar los enlaces de minerales y fitato con el cinc.

2. Fuentes de Minerales

Los peces pueden absorber los minerales disueltos en el agua a través de las membranas branquiales y, en el caso de

Los peces que no tienen un estómago ácido, tales como la carpa, no utilizan fuentes minerales de baja solubilidad. Por ejemplo, la trucha arco iris, que tiene un verdadero estómago, absorbía el 74 % del P de la harina de pescado, mientras que la carpa que no tiene realmente estómago absorbía sólo el 24 %. Ambos peces absorbían el 94 % de fósforo en forma de fosfato monocálcico (OGINO *et al.*, 1979).

4. Magnesio

Aproximadamente el 70 % del magnesio del cuerpo de un animal se encuentra en el tejido óseo. Actúa como coenzima, o activador de enzimas, en el metabolismo de los hidratos de carbono y en la síntesis de proteínas, en las células. El magnesio es necesario, en los fluidos del cuerpo, para evitar la hiperirritabilidad del músculo liso que causaría tetania.

En el pez gato la deficiencia de magnesio causa mal crecimiento, anorexia, pesadez, flacidez muscular, alta mortalidad y reducción de los niveles de magnesio en el cuerpo entero, suero sanguíneo y huesos. La deficiencia de magnesio, en la dieta de la carpa, conduce al mal crecimiento, pesadez, convulsiones, alta mortalidad y reducción del contenido de magnesio en los huesos. Los besugos criados en agua de mar, que contiene niveles altos de magnesio, no muestran síntomas de deficiencia. Los síntomas de la deficiencia, en la trucha arco iris, incluyen mortalidad, curvatura de las vértebras, degeneración de las fibras musculares y degeneración de las células epiteliales del ciego pilórico y de los filamentos de las branquias.

Los peces de agua dulce, que habitualmente contiene de 1 a 3 ppm de magnesio, necesitan entre el 0,025 y el 0,07 % de magnesio en la dieta. La mayor parte de los alimentos, especialmente los de origen vegetal, contienen cantidades altas de magnesio, lo que hace innecesario suplementar los ingredientes naturales; sin embargo, las dietas purificadas sí han de ser suplementadas con magnesio.

5. Hierro

La función principal del hierro, en el cuerpo de los peces, es como componente de la hemoglobina. Otra función es la de ser componente del sistema enzimático de citocromos, que produce ATP en la oxidación celular.

El hierro, como otros elementos de baja solubilidad, como el cinc y el cobre, se absorbe y transporta ligado a proteínas.

Altos niveles de hierro en los tejidos reducen la absorción intestinal. La deficiencia de vitamina C o calcio, o un pH alto en el estómago, también reduce la absorción del hierro. El Fe^{+++} ha de ser reducido a Fe^{++} (a pH bajo) antes de ser absorbido, lo que es facilitado por el ácido ascórbico. En los animales de sangre caliente, se absorbe aproximadamente entre un 10 y un 30 % del hierro. En la mucosa intestinal, el hierro se combina con una proteína (apoferritina) para formar la ferritina. (La cantidad de apoferritina en la mucosa está regulada por la necesidad corporal de hierro.) El hierro se encuentra en la forma oxidada cuando se combina con las proteínas (Fe^{+++}) de la mucosa. Al ser liberado en la sangre, otra vez es reducido a Fe^{++} por los agentes reductores, principalmente vitamina C. En la sangre, es transportado por otra proteína, transferrina, y se almacena en el hígado, bazo, riñón (en peces) como Fe^{+++} combinado a una proteína, hasta su uso.

La deficiencia de hierro causa anemia microcítica en los peces. El hierro disuelto en el agua puede servir de abastecimiento para el metabolismo de los peces aunque, a menudo, el hierro disuelto se precipita como hidróxido férrico y los niveles de hierro en el agua son bajos. Los requerimientos de hierro para el pez gato son de 30 mg/Kg de dieta. (GATLIN y WILSON, 1986b.)

6. Cobre

El cobre está relacionado con el metabolismo y la absorción del hierro. Actúa en la hemopoyesis (formación de la hemoglobina) y en varios sistemas enzimáticos. Es esencial para el desarrollo de los huesos. Algunos animales contienen cobre, como metal del núcleo de pigmentos transportadores de oxígeno en la sangre, cianodina, que es análogo a la hemoglobina en los animales de sangre roja. También se observa esto mismo en los crustáceos y moluscos.

Al igual que el hierro, el cobre no se encuentra soluble como electrolito libre, como ocurre con el Na, K, Cl, etc., y por lo tanto se absorbe y transporta en forma de complejo cobre-proteína.

La carpa común joven alimentada con una dieta que contiene 0,7 ppm de cobre manifiesta reducción del crecimiento, que se corrige con la adición de 3 ppm de cobre a la dieta. Cuando los alevines de trucha arco iris son alimentados con dietas que contienen entre 0,7 y 3,0 ppm de cobre, no se observa efecto apreciable alguno sobre el crecimiento, lo que sugiere que la trucha arco iris necesita

celulares y subcelulares del daño de la oxidación. El selenio también ha sido identificado como un coenzima en el metabolismo de la glucosa.

La deficiencia de selenio, en el salmón del Atlántico, causó alta mortalidad y suprimió la actividad de glutatión peroxidasa en el plasma. Tanto la deficiencia de selenio como la de la vitamina E causa distrofia muscular. HILTON *et al.* (1980) dieron de comer una dieta basal, adecuada en vitamina E, que contenía 0,07 ppm de selenio y niveles graduales hasta las 13 ppm a truchas arco iris. No se observaron mortandades ni signos claros de deficiencia de selenio incluso con el nivel más bajo del elemento. Sin embargo, la actividad de la glutatión peroxidasa aumentó hasta que el selenio alcanzó el nivel de 0,15 a 0,38 ppm. Un nivel de 13 ppm de selenio en la dieta causó reducción de crecimiento y aumentó la mortalidad. Un nivel seguro de selenio en la dieta para la trucha arco iris estaría entre las 0,15 y las 0,40 ppm. GATLIN y WILSON (1984a) observaron que el máximo crecimiento y actividad de glutatión peroxidasa se alcanzaban en el pez gato alimentado con dietas que contenían 0,25 mg de selenio/Kg de dieta, y que 15 mg de selenio/Kg de dieta era tóxico para esta especie.

En los Estados Unidos, la suplementación de los piensos con selenio es rutinaria en dietas con harina de maíz y soja, para pollos y cerdos, para compensar las deficiencias que tienen esas materias primas producidas en suelos deficientes en selenio.

11. Otros minerales

Otros minerales, aparte de los discutidos, que se conocen como esenciales para otros animales y que probablemente sean requeridos por los peces, también incluyen: sodio, potasio, cloro (como ión cloruro), aluminio, molibdeno y cromo. No parece probable que los peces tengan requerimientos específicos de azufre inorgánico y cobalto, cuando sus necesidades de aminoácidos azufrados y vitamina B₁₂, que contiene cobalto, estén cubiertas.

BIBLIOGRAFIA

GATLIN, D. M., III y WILSON, R. P.: 1983. Dietary zinc requirements of channel catfish. *J. Nutr.* 113: 630-635.

GATLIN, D. M., III y WILSON, R. P.: 1984a. Dietary selenium requirement of fingerling channel catfish. *J. Nutr.* 114: 627-633.

GATLIN, D. M., III y WILSON, R. P.: 1984b. Studies on manganese requirement of fingerling channel catfish. *Aquaculture* 41: 85-92.

GATLIN, D. M., III y WILSON, R. P.: 1986a. Dietary copper requirements for channel catfish. *Aquaculture* (in press).

GATLIN, D. M., III y WILSON, R. P.: 1986b. Characterization of iron deficiency and dietary requirement for channel catfish. *Aquaculture* (in press).

GATLIN, D. M., III; ROBINSON, E. H. y POE, W. E.: 1982. Magnesium requirement of fingerling channel catfish. *J. Nutr.* 112: 1181-1187.

KETOLA, H. G.: 1979. Influence of dietary zinc on cataracts in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Nutr.* 109: 965-969.

LOVELL, R. T.: 1978. Dietary phosphorus requirement of channel catfish. *Trans. Am. Fish. Soc.* 107: 617-621.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC): 1981. Nutrient requirements of coldwater fish. National Academy of Sciences, Washington, D. C.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC): 1983. Nutrient requirements of warmwater fish. National Academy of Sciences, Washington, D. C.

cuando, por ejemplo, se emplean ciertas razas de una misma especie o condiciones ambientales poco corrientes, pero éste es un problema general inherente a la experimentación animal.

En resumen, diseñar un experimento significa, en líneas generales, traducir la cuestión o interrogante que se plantea, en términos de formulación de dietas, número de tratamientos, número de peces y réplicas por tratamiento, duración y condiciones de los ensayos, así como establecer los parámetros que han de ser determinados.

2. Condiciones experimentales

A menos que alguna de las condiciones experimentales sea la variable, cuya influencia sobre la utilización nutritiva de la dieta, sea objeto de estudio, el resto debe mantenerse constante a lo largo de los ensayos y para todos los grupos de animales. De una manera general, hay que considerar, en todo diseño, tres grupos de factores básicos: condiciones de mantenimiento, animales y dietas.

Condiciones de mantenimiento

Al estudiar los requerimientos y utilización nutritiva de la dieta, en una determinada especie, se considera, normalmente, una determinada temperatura óptima de crecimiento y conversión de alimento. La eficacia de utilización energético-nutritiva de la dieta puede afectarse por la temperatura del agua, ya que los peces y crustáceos son animales poiquilotermos y su metabolismo se afecta inmediatamente por los cambios ambientales de temperatura, modificándose los requerimientos energéticos y de algunos nutrientes esenciales, utilización digestiva de nutrientes como la grasa, etc., de ahí que sea muy importante el fijar la temperatura del agua y mantenerla constante en los ensayos. Sin embargo, el que exista una temperatura óptima no implica que sea incorrecto el plantear diseños experimentales a otras temperaturas ya que, desde el punto de vista práctico, las explotaciones piscícolas se ven muchas veces afectadas por cambios ambientales de temperatura y, en estas circunstancias, pueden estar modificados los requerimientos nutritivos, de ahí que sea conveniente y aconsejable disponer de los datos correspondientes que permitan ajustar la dieta a las esas nuevas circunstancias ambientales o estacionales.

Por otra parte, considerando una dieta equilibrada y organolépticamente aceptable, los principales factores que influyen sobre la ingesta de alimento, parámetro básico

para su nutrición, es el contenido energético de la dieta. La temperatura del agua influye sobre el metabolismo y el gasto energético y, puesto que la mayoría de las especies de peces consumen alimento para satisfacer sus requerimientos de energía, el contenido calórico de la dieta determina la cantidad de alimento ingerido, en función de la temperatura ambiente.

Otros índices de calidad del agua que necesitan ser mantenidos a niveles adecuados, dada su posible influencia sobre la ingesta, requerimientos y utilización nutritiva de la dieta son: contenido en oxígeno, pH, salinidad, etc. La oxigenación se ve afectada por la temperatura del agua y, dado que ésta tiende a modificar el nivel de ingesta, pueden presentarse situaciones límite que influyan sobre el estado general y metabolismo de los animales. La carga, o concentración de animales, y el tamaño individual son otros factores que pueden llegar a modificar las disponibilidades de oxígeno y se interrelaciona, a su vez, con la temperatura y método de alimentación adoptado. En diseños experimentales, con especies marinas, se utilizan, muchas veces, circuitos cerrados o semicerrados de agua, donde pueden darse cambios importantes de salinidad, sobre todo aumentos por evaporación de agua, que pueden influir sobre el gasto energético de los animales e incluso, cuando la dieta está muy ajustada a los requerimientos nutritivos, ligeras deficiencias de aquellos nutrientes esenciales, aminoácidos y ácidos grasos sobre todo, cuyos requerimientos cuantitativos se influyen por la salinidad. Estas consideraciones son especialmente importantes para las especies eurihalinas, dadas sus posibilidades de cultivo en aguas de una determinada salinidad, o de salinidad variable.

Además, en todo diseño experimental de nutrición, al estar restringido el espacio de los animales, hay que tener en cuenta aspectos como: renovación del agua, tipo de tanques, carga, tamaño de los animales, etc.

El asegurar una renovación adecuada del agua evita el acúmulo de sustancias de desecho y restos de alimentos que pueden producir un efecto tóxico directo en los animales (amoníaco, urea, etc.) o indirecto, a través del crecimiento de algas y bacterias que pueden favorecer el desarrollo de determinadas patologías que, lógicamente, alterarán los resultados. Además, el crecimiento de algas y bacterias puede dar datos falsos sobre la utilización digestiva y metabólica de los nutrientes, sobre todo de la proteína. Para evitar esto, los sistemas de acuario deben reducir al máximo estos posibles efectos negativos, para ello existen sistemas

casos, al igual que en los comienzos del desarrollo de dietas para animales domésticos, la información sobre requerimientos nutritivos y utilización digestiva de materias primas/ingredientes, como datos básicos para la formulación de dietas, no se conoce. En estas circunstancias y ante la necesidad de disponer de algún tipo de dieta basal, que sustente un crecimiento aceptable, para ser utilizada en una investigación dirigida a obtener esa información básica, las dietas se vienen formulando, actualmente, haciendo uso de datos como: fórmulas para otras especies de peces, composición de su alimento natural y composición o contenido corporal de nutrientes esenciales. La aproximación que así se obtiene, puede dar lugar a dietas útiles para una investigación piscícola.

Sobre la base de dieta control adecuada, las dietas experimentales deben diferir de aquella, únicamente, en la variable o factor objeto de estudio. Una norma importante a tener en cuenta, en todo el conjunto de dietas experimentales, es que la calidad de sus ingredientes no varíe durante todo el experimento. Para conseguirlo y evitar variaciones en la composición y disponibilidad de nutrientes, la dieta debe hacerse de una sola vez y en cantidad suficiente para el experimento completo. En este sentido, las condiciones de almacenamiento deben cuidarse especialmente, sobre todo si los ensayos se han diseñado para un largo período de tiempo. Otros componentes de la dieta como antibióticos, conservantes, antioxidantes o saborizantes, deben ser consideradas también como ingredientes de la dieta y, por tanto, deben estar sujetos a las mismas normas.

Al considerar la composición de la dieta, no basta con el cálculo teórico de su contenido en nutrientes, basado en el análisis de composición de los ingredientes, sino que dicha composición debe ser comprobada analíticamente, una vez fabricada la dieta, al menos para los nutrientes generales (proteína, grasa, fibra, materia extractiva libre de nitrógeno, minerales totales y humedad) y, naturalmente, para aquel o aquellos que vayan a ser ensayados (vitaminas, ácidos grasos, aminoácidos, etc.). Por otra parte, cuando haya sospecha, para excluir posibles efectos colaterales o para una mejor interpretación de los resultados obtenidos, puede ser oportuno realizar análisis de posibles factores nocivos como pesticidas, elementos traza tóxicos, etc.

La metodología analítica y de formulación de dietas, empleada con frecuencia en los estudios de nutrición de peces, no está exenta de aspectos criticables (JOBLING, 1983) sobre todo en lo que se refiere a una amplia aceptación de determinados factores de conversión

standard, que pueden dar lugar a serios errores de métodos e interpretación de resultados. Este es el caso del cálculo del contenido energético de la dieta para el que se emplean, normalmente dos métodos: un método directo, mediante bomba calorimétrica, y un método indirecto basado en el análisis de los componentes (proteína, lípidos, hidratos de carbono) seguido de la aplicación de valores calóricos standard a cada uno de ellos. Los valores medios de los factores de conversión, comúnmente empleados: 4,10; 9,45 y 5,65 Kcal/g (17,15; 39,54 y 23,64 KJ/g), para hidratos de carbono, grasa y proteína respectivamente, pueden no ser apropiados para todos los materiales biológicos, y el uso de estos valores puede introducir, en su caso, errores importantes.

Por otra parte, para el cálculo del contenido proteico, a partir de la determinación de nitrógeno, se asume que la proteína tiene un 16 % de nitrógeno y que, por tanto, el factor de conversión empleado sea 6,25. Sin embargo, las proteínas varían en su composición de aminoácidos, y muchos otros compuestos nitrogenados pueden estar presentes en la muestra analizada; por ejemplo: el nitrógeno no proteico muscular puede variar desde un 2 % del nitrógeno total en salmónidos hasta el 38 % en algunos elasmobranchios (NIMI, 1972).

En cuanto a los hidratos de carbono, aunque existen métodos para su determinación, en la mayoría de los casos se estiman por diferencia, después de analizar proteína, grasa, agua y cenizas, lo que puede acumular errores de estas determinaciones, además de incluir celulosa sin valor calórico para la mayoría de los peces, y otros hidratos de carbono de distinto nivel energético (glucosa: 3,74 Kcal/g, almidón: 4,23 Kcal/g), de ahí que la aplicación general de un factor de conversión de 4,1 Kcal/g sea cuestionable.

El valor calórico, en bomba calorimétrica, de los lípidos extraídos de peces, sugiere que el factor de conversión de 9,45 Kcal/g, habitualmente empleado, es demasiado alto y que sería más apropiado un valor de 8,5 Kcal/g para estos lípidos (CRAIG *et al.* 1978; BEUKEMA y BRUIN, 1979).

La inseguridad de una adecuada formulación de la dieta, que surge de la aplicación de valores calóricos standard, junto a posibles errores de animales y composición, sobre todo de proteína e hidratos de carbono, nos lleva a concluir que tales métodos de conversión teórica no deben ser utilizados, al menos en aquellas ocasiones en que se sospechen diferencias cualitativas notables en la composición de los ingredientes de la dieta, o del animal, que afecten significativamente a su contenido calórico. El método directo, de estimación de la energía bruta total de la

del término de energía metabolizable, aplicando preferentemente el de energía digestible, si se dispone de datos objetivos para ello.

Una serie de aspectos tecnológicos deben también ser tenidos en cuenta en la formulación de dietas experimentales. El tamaño de partícula, que es condicionante de la utilización digestiva de un determinado alimento o ingrediente, debe ser lo más homogéneo posible, sobre todo cuando se estudia la utilización nutritiva de, por ejemplo, distintas fuentes proteicas. Las condiciones del proceso de fabricación (temperatura, humedad, desecado, etc.) y su resultado (tamaño, dureza, flotabilidad, etc.) debe ser, igualmente, homogéneo. Por otra parte, para evitar efectos colaterales, o para mejor interpretación de los datos obtenidos, debe haber un cierto control de la presencia de sustancias como pesticidas, elementos tóxicos, factores antinutritivos, etc., que afectan negativamente a la utilización nutritiva de la dieta, al menos cuando existan sospechas de su posible presencia.

Duración de los ensayos

La duración de los ensayos debe ser suficiente como para establecer diferencias significativas entre los distintos grupos experimentales, dentro de las expectativas teóricas de la hipótesis de trabajo. En ensayos de crecimiento activo, los grupos control deben multiplicar su peso de cinco a diez veces respecto al inicial, sobre todo cuando se parte de unos pesos medios iniciales de 2 a 5 gramos. Lógicamente, la multiplicación del peso depende de los pesos iniciales de partida, en íntima relación con la velocidad de crecimiento. En cualquier caso, la duración de los ensayos está condicionada por el diseño experimental y habrá de tener en cuenta factores como: tiempos teóricos de aparición de deficiencias, tipo de nutriente objeto de estudio y su papel funcional, temperatura, etc., siendo responsabilidad del investigador el establecer la duración adecuadamente.

3. Evaluación de los ensayos

Las consideraciones generales que se dan aquí, sobre diseños experimentales de nutrición de peces, se refieren, casi exclusivamente, a aquellos ensayos en los que las cuestiones experimentales que se plantean están implícitas en la composición de las dietas y las respuestas se recogen en términos de crecimiento y utilización nutritiva de las mismas. En este sentido, la evaluación de los ensayos

descansa sobre criterios biológicos. Los criterios químicos sobre calidad de la dieta, incluyendo posibles efectos de las tecnologías de preparación y fabricación, se tratarán en otros capítulos.

Ingesta

La alimentación de los peces, entendida como la frecuencia diaria y cantidad de alimento ofrecido y el control continuo y preciso de la cantidad ingerida, es una de las actividades más importantes en todo experimento de nutrición. El volumen de ingesta va a condicionar la disponibilidad primaria de nutrientes y energía para el animal y en consecuencia, puede ser también un importante condicionante de la utilización nutritiva (digestiva y metabólica) de la dieta. Los peces, como otros animales, ingieren alimento en cantidades para satisfacer sus necesidades energéticas; sin embargo, otros factores pueden afectar la aceptabilidad de la dieta y, en consecuencia, la cantidad de alimento ingerido. En este sentido, la homogeneidad entre dietas de factores como: concentración de nutrientes, energía digestible o metabolizable, sabor, textura, etc., debe ser cuidada especialmente, salvo aquellas variables que sean objeto de estudio. En determinados diseños experimentales, la diferencia de ingesta entre dietas hace necesario limitar la cantidad de alimento a todos los grupos experimentales, para evitar las diferencias debidas al volumen de ingesta y poder hacer una evaluación más precisa de la utilización nutritiva de cada una de ellas, es lo que se conoce como alimentación pareada o «pair-fed».

La ingesta debe ser registrada de forma continua, o en subperíodos, a lo largo de todo el ensayo, al objeto de conocer su evolución y descartar efectos colaterales. En aquellos ensayos en los que sea problemática la cuantificación de la ingesta, es aconsejable administrar cantidades de dieta inferiores, por debajo del nivel de saciedad, para evitar errores y poder asumir que la dieta administrada corresponde con la ingerida.

Los datos de ingesta junto con los de composición de la dieta, permiten calcular la cantidad de nutriente ingerido, excepto para algunos minerales que pueden ser captados directamente del agua, especialmente en el caso de las especies marinas.

Otros aspectos de la ingesta, de gran trascendencia práctica, son aquellos relacionados con la aceptabilidad de la dieta y con los hábitos alimentarios, en relación a la

temperatura y el fotoperíodo. Para su evaluación se han desarrollado dispositivos más o menos automatizados, mediante los cuales los animales autorregulan su ingesta, al aprender a pulsar una palanca que actúa sobre un dispensador de alimento. En nuestro laboratorio, hemos sofisticado estos dispositivos al introducir una unidad de control, toma y análisis de datos, mediante ordenador, que permite, además, la simulación de condiciones estacionales, al modular cambios suaves de la temperatura y del fotoperíodo. La capacidad de aprendizaje y discriminación, al ofertar simultáneamente distintas dietas, mediante sus respectivas palancas, permite obtener una valoración muy aproximada de las preferencias y hábitos horarios de alimentación, e incluso de los requerimientos de nutrientes esenciales, «preguntando» a los animales, sin interferir en sus decisiones y bajo condiciones muy controladas.

Eficacia del alimento

Un primer paso en el cálculo de los índices de eficacia del alimento, una vez cuantificada la ingesta total de dieta, es la valoración del crecimiento en peso de los animales, para cada grupo experimental, pesándolos cada 2-4 semanas. Los incrementos de peso vivo deben ser expresados en términos absolutos, para un período determinado de tiempo, más que como porcentaje de ganancia de peso que sólo informa de la relación respecto al peso corporal inicial. Estos datos, no sólo permiten la obtención de una curva de crecimiento más o menos ajustada, sino que, al relacionarlos con la ingesta, se puede calcular la conversión o eficacia del alimento, para cada dieta, que viene expresada tradicionalmente por los siguientes índices:

$$\text{Conversión del alimento} \\ (\text{feed conversion rate}) = \frac{\text{Alimento ingerido (g)}}{\text{Incremento de peso (g)}}$$

$$\text{Índice de conversión} \\ (\text{conversion efficiency}) = \frac{\text{Incremento de peso (g)}}{\text{Alimento ingerido (g)}}$$

Ambos términos son muy parecidos ya que contienen los mismos factores pero en relación inversa, de ahí que sean confundidos frecuentemente. En relación a estos índices, es importante tener claro el concepto que encierran las expresiones «alimento ingerido» e «incremento de peso». El

alimento ingerido no se refiere a la cantidad de dieta ofrecida a los animales, sino a la que realmente ingieren de esa oferta y haciendo referencia a la composición general de cada una de las dietas ensayadas. La ganancia de peso, por otra parte, no es un término preciso en cuanto puede no representar un crecimiento proporcional, cuantitativa y cualitativamente, de todos los órganos e incluye, por ejemplo, la grasa acumulada en músculo y otros territorios como digestivo e hígado. Por ello, estos datos deben acompañarse de los de composición corporal, sobre todo cuando exista posibilidad, o datos reales previos, de diferencias notables entre los grupos experimentales.

Por otra parte, si los distintos grupos de animales ingieren dietas con grandes variaciones en el contenido de agua (dieta seca: aproximadamente un 10 %, dieta natural: aproximadamente un 80 %), la ingesta debe ser expresada en sustancia seca. Lo mismo habría que hacer con el incremento de peso, teniendo en cuenta las posibles diferencias debidas a depósitos grasos. En cualquier caso, la expresión más precisa de los índices de eficacia del alimento debe ser calculada como: Dieta seca ingerida/Incremento de peso seco, o su recíproco.

Aun cuando para el piscicultor, la eficacia del alimento tiene su valor, en cuanto al rendimiento económico de una determinada dieta comercial, el científico tiene que recurrir a una metodología más precisa que le permita una evaluación más concreta de la utilización nutritiva de la dieta.

Utilización digestiva

La proteína, grasa e hidratos de carbono de la dieta, para poder ser utilizados por el animal, deben someterse, previamente, a los procesos digestivos para ser hidrolizados en aminoácidos, ácidos grasos, monoglicéridos, diglicéridos y azúcares y poder, así, ser absorbidos y pasar a disposición del organismo. El valor nutritivo de un alimento depende no sólo de su contenido en nutrientes, sino de la capacidad del animal para digerir y absorber los nutrientes de la dieta, capacidad que varía en función de la especie, condiciones ambientales, calidad y cantidad del nutriente, proporción relativa con otro u otros nutrientes, procesos tecnológicos, etc.

Básicamente, los ensayos de utilización digestiva y el cálculo de los correspondientes coeficientes de digestibilidad, implican un control preciso de la cantidad de nutriente ingerido y eliminado por heces, existiendo una

serie de métodos directos e indirectos para su determinación, que se discutirán más adelante. La proporción en que un nutriente de la dieta es digerido y absorbido se expresa como digestibilidad. El denominado coeficiente de digestibilidad se define como el porcentaje de nutriente absorbido respecto del ingerido, según las siguientes expresiones:

$$\text{Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA)} = \frac{I - F}{I} \times 100$$

$$\text{Coeficiente de Digestibilidad Real (CDR)} = \frac{I - (F - F_0)}{I} \times 100$$

En estas expresiones, I representa la cantidad de nutriente ingerido (proteína, grasa, etc.), F la cantidad de nutriente excretada en heces y F_0 corresponde a la cantidad de nutriente de procedencia endógena, no alimentaria, que se elimina en el conjunto de las heces (origen alimentario + endógeno) y se determina para corregir la digestibilidad aparente. Es habitual dar la digestibilidad en términos de CDA, por la dificultad que entraña la cuantificación de las eliminaciones endógenas y porque, a efectos prácticos, representa la cantidad de nutriente «in totum» que pasa a integrar el «pool» endógeno disponible para el organismo.

La determinación de la digestibilidad en los peces presenta, respecto a los animales terrestres, la dificultad de obtener las heces del agua y la posible contaminación de éstas con el alimento no ingerido. Este problema ha originado el desarrollo de una serie de técnicas, más o menos acertadas, de recogida de excretas, combinadas con métodos, directos o indirectos, del cálculo de la digestibilidad. NOSE (1960) inició la recogida de excretas por presión abdominal. WINDELL *et al.* (1978) recogían las muestras del contenido rectal por succión anal o por disección. Las heces obtenidas por estos métodos producen stress en los animales y, posiblemente, la obtención del nutriente parcialmente digerido o absorbido, aparte de que una evacuación forzada puede provocar una excesiva evacuación de enzimas digestivos, fluidos corporales y epitelio intestinal, que alteran los índices de utilización digestiva.

Por otra parte, SMITH (1971) mantiene a los peces en cámaras metabólicas donde recoge las heces evacuadas directamente del agua. OGINO *et al.* (1973) recogen separadamente las heces y los productos finales del metabolismo nitrogenado mediante un dispositivo por el cual el agua sifonada del tanque es filtrada y las heces son

cuantitativamente retenidas y precipitadas, el agua atraviesa a continuación una resina fuertemente básica que retiene amonio (aunque no urea), de esta forma se determina la digestibilidad y el dispositivo permite, además, ensayos de balance de nitrógeno y medidas del valor biológico de la proteína. El dispositivo es limitante en cuanto al flujo de agua y, obviamente, no puede ser aplicado a peces marinos. Actualmente, el método generalmente más aceptado es el de CHO *et al.* (1975, 1982), mediante el cual el agua sifona a través de un tubo de baja presión donde las heces van depositándose en el fondo y de donde se extraen con una frecuencia determinada.

Todos estos métodos presentan algunos inconvenientes ya que, por ejemplo, si las heces se obtienen por presión abdominal las digestibilidades obtenidas pueden ser mas bajas que las reales, por contaminación con proteínas del animal (AUSTRENG, 1978; PFEFFER, 1982). Por otra parte, las heces recogidas por filtración, por decantación y centrifugación (CHO *et al.*, 1975) o por centrifugación y posterior filtración (CHOUVERT *et al.*, 1979) del agua, pueden haber sufrido un «lavado» (leaching) que puede llevar a sobreestimar la digestibilidad de una fuente proteica. Datos comparativos, de ambos métodos de recogida de heces, dan valores más bajos para aquellos obtenidos mediante presión abdominal (CHO y SLINGER, 1979).

Ante la dificultad de una recogida cuantitativa de heces y para evitar, en parte, los inconvenientes de los métodos directos, se vienen aplicando, especialmente en el caso de los peces, métodos indirectos basados en la adición a la dieta de un marcador inerte. Los cambios en las proporciones de nutriente y marcador, en dieta y heces, permiten el cálculo indirecto de la digestibilidad de dicho nutriente, según la siguiente expresión:

$$\text{CDA (\%)} = 100 - 100 \times \frac{\% \text{ indicador en dieta} \times \% \text{ nutriente en heces}}{\% \text{ indicador en heces} \times \% \text{ nutriente en dieta}}$$

Los marcadores e indicadores inertes son sustancias ampliamente empleadas en estudios de nutrición, tanto en peces como en otros animales (ver revisión de KORB y ZUCKEY, 1972). EDIN, en 1918, introdujo el óxido de cromo (Cr_2O_3) para obviar la necesidad de un control cuantitativo de la ingesta y eliminación fecal de nutrientes, y AUSTRENG (1978) confirmó, posteriormente, su utilidad en la determinación de digestibilidades en peces. Aunque el óxido de cromo ha sido la sustancia más empleada, se puede utilizar el dióxido de titanio que tiene también la ventaja, al menos en los ensayos de digestibilidad proteica, de poder ser

totalmente insoluble, lo que no es aceptable, al menos cualitativamente, y, de hecho, DE LA HIGUERA *et al.* (1977), utilizando otro método para su determinación, consideran dentro del nitrógeno fecal total una fracción soluble, precipitable con una solución de sulfato de cinc y perfectamente cuantificable.

Si se evitan las correcciones por nitrógeno endógeno, de procedencia fecal y metabólica (urinaria + branquial), se obtienen, aunque de forma «aparente», los índices anteriores. Así:

$$\text{N.P.U. aparente} = \frac{I - F - U}{I}$$

$$\text{B.V. aparente} = \frac{I - F - U}{I - F}$$

Según estas expresiones, se reducen las dificultades de su determinación pero, a cambio, pierden en precisión, al mismo tiempo que siguen manteniéndose los errores correspondientes a la obtención y determinación de las fracciones fecal y metabólica.

Por otra parte, estos índices podrían expresarse en términos de nitrógeno corporal, para calcular el nitrógeno retenido durante un determinado período experimental. En este sentido:

$$\text{N.P.U.} = \frac{B - B_E}{I}$$

$$\text{N.P.U. aparente} = \frac{B - B_0}{I}$$

$$\text{B.V.} = \frac{B - B_E}{I - (F - F_E)}$$

$$\text{B.V. aparente} = \frac{B - B_0}{I - F}$$

donde B = nitrógeno corporal al final del experimento, B_E = nitrógeno corporal al final del período endógeno y B_0 = nitrógeno corporal al principio del experimento con la dieta problema.

Un término idéntico al N.P.U. aparente, basado únicamente en las determinaciones de nitrógeno corporal, es el P.P.V. (protein productive value = valor productivo de la proteína), cuyas ventajas de su determinación en peces fue demostrada por DE LA HIGUERA *et al.* (1977), en un estudio comparativo con los índices anteriormente comentados, concluyendo el estudio con la demostración de que los datos que se obtienen son muy similares, pero que el P.P.V. presenta grandes ventajas sobre el resto, concretamente: no necesita un grupo control para cada dieta y la determinación de la retención de nitrógeno

corporal es muy precisa, a la vez que ahorra tiempo y evita errores en la determinación de la utilización nutritiva de la proteína. La expresión matemática que define este índice es:

$$\text{P.P.V.} = \frac{N \text{ corporal final} - N \text{ corporal inicial}}{N \text{ ingerido}} \times 100 = \frac{B - B_0}{I} \times 100$$

Con este método pueden ensayarse todo tipo de dietas, diferentes en cantidad y calidad proteica, considerando el nitrógeno endógeno igual para todos los grupos experimentales. La duración de los ensayos, en que se determina P.P.V., debe ser de aproximadamente un mes ya que si períodos más largos pueden ser claramente más precisos, también es verdad que en las fases más agudas de crecimiento, períodos muy largos pueden no ser suficientemente indicativos.

Por otra parte, a partir de los datos de P.P.V. y C.D.A. se pueden calcular los de B.V. aparente, ya que éste representa la proporción de nitrógeno retenido (P.P.V.) respecto al absorbido (C.D.A.).

$$\text{B.V. aparente} = \frac{\text{P.P.V.}}{\text{C.D.A.}}$$

La interrelación entre otros índices, de los anteriormente citados, sería también, por tanto:

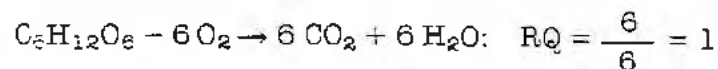
$$\text{B.V.} = \frac{\text{N.P.U.}}{\text{C.D.R.}}$$

En relación con la evaluación de la proteína para crecimiento, el término más usado, en la práctica, es el P.E.R. (protein efficiency ratio = coeficiente de eficacia en crecimiento, C.E.C.), cuya expresión matemática es:

$$\text{P.E.R.} = \frac{\text{Incremento de peso (g)}}{\text{Proteína ingerida (g)}}$$

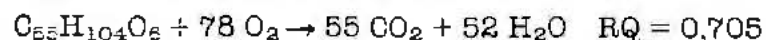
Este índice es menos preciso que los anteriores pero es muy útil y fiable cuando las condiciones experimentales están bien standardizadas. El P.E.R. varía con el porcentaje de proteína en la dieta, presentando un máximo a cierto nivel. Para una misma proteína, los máximos P.E.R. varían no sólo entre especies, sino con la edad, dentro de una misma especie. Para aumentar su precisión las dietas deben ser isocalóricas y la alimentación restringida a la cantidad del grupo que ingiere menos (alimentación pareada = pair-fed). Además, su determinación debe hacerse en períodos lo más dilatados posible y asegurando la estabilidad de la temperatura del agua.

Si se emplea la glucosa (PM = 180) como representativa de la oxidación de los hidratos de carbono, la reacción puede expresarse de la forma siguiente:



En este caso, un mol de glucosa reacciona con 6 moles de oxígeno (192 g) y como la oxidación de un gramo de glucosa libera aproximadamente 2833 kJ en forma de calor, el valor calórico del oxígeno sería para la glucosa de $2833/192 = 14.76$ julios/mg de oxígeno.

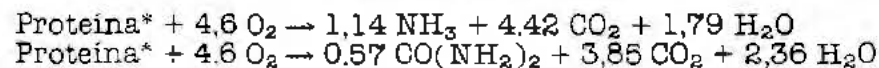
El cociente respiratorio de la grasa depende del tipo de ácidos grasos que contenga. Suponiendo un triglicérido medio compuesto por oleico, palmítico y esteárico:



El valor calórico del oxígeno, para una grasa de tipo medio, se acepta generalmente como 13,72 julios/mg de oxígeno.

En el caso de las proteínas, el establecimiento de su valor calórico es más conflictivo ya que no se queman totalmente hasta CO_2 y H_2O , sino que quedan restos nitrogenados que son eliminados por el organismo. Estos productos nitrogenados eliminados varían con la especie y el tipo de hábitat. Los peces excretan como compuesto nitrogenado final, fundamentalmente amoníaco aunque también excretan urea y otros compuestos como el óxido de trimetilamina, creatinina, etc. Las proporciones relativas varían de unas especies a otras; aquí vamos a considerar en líneas muy generales, las consecuencias energéticas de la eliminación de amoníaco y urea.

Consideremos la oxidación de 100 g de proteína con una composición del 53 % de carbono, 7 % de hidrógeno, 23 % de oxígeno y 16 % de nitrógeno, el resto (un 1 %) sería azufre que no vamos a tomar en consideración. Dividiendo los porcentajes por los correspondientes pesos atómicos (12, 1, 16 y 14) se pueden establecer las siguientes reacciones:



* 4,42 C, 7,00 H, 1,44 O, 1,14 N. Valor calórico: 2364 kJ o 565 kcal/100 g de proteína.

Los valores calóricos del amoníaco y la urea son, respectivamente, 347,9 kJ/mol y 634,3 kJ/mol (en la ecuación: 397 kJ y 362 kJ totales, respectivamente).

Por tanto, los cocientes respiratorios proteicos respectivos serían: 0,96 cuando se elimina amoníaco y 0,84 cuando se elimina urea.

Los equivalentes oxicalóricos serían, respectivamente:

$$Q_{ox} = \frac{2.364 \cdot 397}{147.2} = 13,36 \text{ julios/mg } O_2 \text{ y } \frac{2.364 \cdot 362}{147.2} = 13,60 \text{ julios/mg } O_2.$$

5. Métodos de determinación del consumo de oxígeno. Calorimetría indirecta

La calorimetría indirecta en peces o, lo que es lo mismo, la determinación del consumo de oxígeno en distintas circunstancias de dieta, temperatura, etc., supone que toda la energía es liberada aeróbicamente. Para ello, se han desarrollado diversos tipos de cámaras de respirometría, herméticamente cerradas, donde se mide el consumo de oxígeno por disminución de su contenido en la cámara (circuito cerrado) o por diferencia entre la concentración de oxígeno en el agua a la entrada y salida de la cámara (circuito abierto). En el capítulo realizado por CHO se muestra el dispositivo correspondiente a un circuito abierto diseñado por este mismo autor. Dado que el oxígeno disuelto se mide mejor que el anhídrido carbónico, el cociente respiratorio de los peces raramente se mide. El consumo de 1 g de oxígeno se asocia con la liberación de 13,6 kJ de energía, valores medios, considerando que los peces carnívoros utilizan como fuentes principales de energía a los lípidos y proteínas, más que a los lípidos e hidratos de carbono.

Sin embargo, una descripción completa del balance energético de los peces precisa de una medida de la ingesta y excretas fecales y metabólicas.

Estos dispositivos, que contemplan la medida del balance energético, contribuyen, de manera importante, a las evaluaciones nutritivas de las dietas. A menudo, dietas muy similares ofrecen distintos resultados cuya explicación más frecuente hay que buscarla en su capacidad de suministrar energía útil.

Haciendo uso de una cámara de respirometría pueden calcularse las distintas fracciones de la energía de la dieta, que dan una idea muy aproximada de la utilización nutritiva *in totum* de la energía e incluso del destino energético de la

AUSTRENG, E.: 1978. Digestibility determination in fish using chromic oxide marking and analysis of contents from different segments of the gastrointestinal tract. *Aquaculture*. 13. 265-272.

BENDER, A.E. y MILLER, D.S.: 1953. A new brief method of estimating net protein value. *Biochem. J.* 53, 7-14.

BEUKEMA, J.J. y DE BRUIN, W.: 1979. Calorific values of the soft parts of the tellinid bivalve, *Macoma balthica* (L.) as determined by two methods. *J. exp. mar. Biol. Ecol.* 37, 19-30.

BRAATEN, B.R.: 1979. Bioenergetics. A review on methodology. En «Finfish Nutrition and Fishfeed Technology». Vol. II (Ed. por J.E. HALVER y K. TIEWS), pp. 461-504. Proceeding of the EIFAC Symposium. Hamburg, 1978.

BRETT, J.R. y GROVES, T.D.D.: 1979. Physiological Energetics. En «Fish Physiology». Vol. VIII (Ed. por W.S. HOAR, D.J. RANDALL y J.R. BRETT), pp. 280-352. Academic Press. London.

CHO, C.Y.; BAYLEY, H.S. y SLINGER, S.J.: 1975. An automated fish respirometer for nutrition studies. *Proc. 28th Ann. Meeting of Can. Conf. for Fish. Res.*, Vancouver, B.C.

CHO, C.Y. y SLINGER, S.J.: 1979. Apparent digestibility measurement in feedstuffs for rainbow trout. En «Finfish Nutrition and Fishfeed Technology». Vol. II (Ed. por J.E. HALVER y K. TIEWS), pp. 239-246. Proceeding of the EIFAC Symposium. Hamburg, 1978.

CHO, C.Y.; SLINGER, S.J. y BAYLEY, H.S.: 1982. Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity. *Comp. Biochem. Physiol.* 73 B, 25-41.

CHOUBERT, G.; DE LA NOUE, J. y LUQUET, P.: 1979. Continuous quantitative automatic collector for fish feces. *Prog. Fish-Cult.* 41, 64-67.

CRAIG, J.F.; KENLEY, M.J. y TALLING, J.F.: 1978. Comparative estimations of the energy content of fish tissue from bomb calorimetry, wet oxidation and proximate analysis. *Freshwat. Biol.* 8. 585-590.

EDIN, H.: 1918. Orienterande försök över användbarheten av en p «ledkroppsprincipen» grundad metod att bestämma en foderblandings smältbarhet. Meddelande N:r 165 från Centralanstalten på jordbruksområdet, Husdjursavdelingen N:r 25. Sthlm. 22.

FISCHER, Z.: 1979. Selected problems of fish bioenergetics. En «Finfish Nutrition and Fishfeed Technology». Vol. I (Ed. por J.E. HALVER y K. TIEWS), pp. 17-44. Proceeding of the EIFAC Symposium. Hamburg, 1978.

DE LA HIGUERA, M.; MURILLO, A.; ZAMORA, S. y VARELA, G.: 1977. The influence of dietary fat levels on protein utilization by the trout (*Salmo gairdneri*). *Comp. Biochem. Physiol.* 56A. 37-41.

JOBLING, M.: 1983. A short review and critique of methodology used in fish growth and nutrition studies. *J. Fish Biol.* 23, 685-703.

KOTB, A.R. y LUCKEY, T.D.: 1972. Markers in nutrition. *Nutr. Abstr. & Rev.* 42(3), 813-845.

MITCHELL, H.H.: 1924. A method of determining the biological value of protein. *J. biol. Chem.* 58, 873-903.

NIIMI, A.J.: 1972. Total nitrogen, nonprotein nitrogen and protein content in largemouth bass (*Micropterus salmoides*) with reference to quantitative protein estimates. *Can. J. Zool.* 50, 1607-1610.

NJAA, L.R.: 1961. Determination of protein digestibility with titanium dioxide as indicator substance. *Acta Agriculturae Scandinavica*. 11, 227-241.