

# ÍNDICE

<b>1. LA DIGESTIÓN EN LOS PECES</b> .....	15
<b>1.1. ANATOMÍA DEL TRACTO DIGESTIVO</b> .....	18
1.1.1. Cavity oral-Cavity faríngea (Cavity bucofaríngea).....	18
1.1.2. Digestivo anterior.....	19
1.1.3. Digestivo medio o yeyuno .....	22
1.1.4. Digestivo distal o posterior o ileon .....	22
1.1.5. Glándulas asociadas .....	22
<b>1.2. FUNCIONES GENERALES</b> .....	27
1.2.1. Cavity bucofaríngea .....	27
1.2.2. Esófago .....	29
1.2.3. Estómago .....	30
1.2.4. Intestino .....	31
<b>1.3. FUNCIONES MOLECULARES</b> .....	32
1.3.1. Digestión en el estómago .....	32
1.3.1.1. Enzimas proteolíticas .....	32
1.3.1.2. Enzimas no proteolíticas .....	33
1.3.2. Digestión en el intestino .....	33
1.3.2.1. Secreciones biliares.....	33
1.3.2.2. Secreciones enzimáticas pancreáticas.....	34
1.3.2.3. Secreciones enzimáticas intestinales .....	37
<b>1.4. ABSORCIÓN</b> .....	38
1.4.1. Absorción de nutrientes.....	38
1.4.1.1. Absorción por endocitosis .....	39
1.4.1.2. Absorción por difusión o transporte activo .....	39
1.4.2. Absorción de los lípidos .....	40
1.4.3. Absorción de los carbohidratos .....	41
1.4.4. Absorción de las proteínas.....	41
<b>1.5. MÉTODOS DE MEDIDA DE LA DIGESTIÓN</b> .....	41
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	44



<b>2. LA ENERGÍA EN LA NUTRICIÓN DE LOS PECES</b>	47
2.1. PRINCIPIOS BÁSICOS: ORIGEN Y DESTINO DE LA ENERGÍA EN LOS PECES	49
2.2. METABOLISMO ENERGÉTICO	50
2.3. DESTINO DE LA ENERGÍA DEL ALIMENTO: EB, ED, EM, EN	52
2.4. VALORES ENERGÉTICOS DEL ALIMENTO: DIGESTIBILIDAD DE LA ENERGÍA	55
2.5. PÉRDIDAS ENERGÉTICAS POR EXCRECIÓN	58
2.6. PÉRDIDAS POR INCREMENTO CALÓRICO	59
2.7. RETENCIÓN DE LA ENERGÍA	61
2.8. NIVELES ENERGÉTICOS DE LOS PIENSOS Y NECESIDADES DE ENERGÍA	62
2.9. ENERGÍA DE MANTENIMIENTO	72
2.10. ENERGÍA PARA CRECIMIENTO: RETENCIÓN DE ENERGÍA CORPORAL Y EFICIENCIA	76
2.11. FORMULACIÓN DE PIENSOS: TASA DE INGESTIÓN E ÍNDICE DE CONVERSIÓN ECONÓMICO	80
2.12. RESUMEN Y CONCLUSIONES	83
BIBLIOGRAFÍA	84
<b>3. PROTEÍNAS EN DIETAS PARA PECES</b>	89
3.1. INTRODUCCIÓN	91
3.2. LAS PROTEÍNAS EN LOS PIENSOS PARA PECES: PRINCIPIOS BÁSICOS DE SU UTILIZACIÓN	93
3.3. REQUERIMIENTOS CUANTITATIVOS Y CUALITATIVOS DE PROTEÍNAS Y AMINOÁCIDOS. FACTORES QUE AFECTAN AL REQUERIMIENTO	96
3.4. EVOLUCIÓN DE LA METODOLOGÍA APLICADA EN LAS DETERMINACIONES CUANTITATIVA Y CUALITATIVA DE PROTEÍNAS Y AMINOÁCIDOS	103
3.5. INGREDIENTES PROTEICOS EN PIENSOS PARA PECES. ALTERNATIVAS A LA HARINA DE PESCADO	115
3.5.1. Harinas vegetales en dietas para peces	117
3.5.1.1. Algas en dietas para acuicultura	122
3.5.2. Productos y subproductos de la pesca	125



3.6. PROTEÍNAS DIETÉTICAS Y CALIDAD DE FILETE.....	132
BIBLIOGRAFÍA .....	135
<b>4. NUTRICIÓN LIPÍDICA.....</b>	<b>151</b>
CONSIDERACIONES GENERALES.....	156
4.1. ESTRUCTURA DE LOS LÍPIDOS.....	157
4.2. FUNCIONES DE LOS LÍPIDOS .....	165
4.2.1. Función energética.....	165
4.2.2. Función estructural.....	166
4.2.3. Precursores de eicosanoides .....	168
4.2.4. Reguladores de la expresión génica.....	173
4.2.5. Mediadores de otras funciones celulares.....	177
4.3. DIGESTIÓN, ABSORCIÓN, TRANSPORTE Y METABOLISMO DE LOS LÍPIDOS.....	178
4.3.1. Digestión, absorción y transporte .....	178
4.3.2. Metabolismo de los lípidos. Obtención de n-3 y n-6 HUFA a partir de sus precursores C18 PUFA .....	182
4.4. REQUERIMIENTOS LIPÍDICOS .....	185
4.4.1. Información útil para evaluar los requerimientos nutricionales de lípidos y ácidos grasos.....	186
4.4.2. Niveles y proporciones dietarias óptimas de lípidos .....	188
4.4.3. Niveles y proporciones dietarias óptimas de ácidos grasos poliinsaturados n-3 y n-6 .....	193
4.4.3.1. Requerimientos lipídicos de peces marinos .....	194
4.4.3.2. Requerimientos lipídicos de peces dulceacuícolas.....	209
4.4.4. Niveles y proporciones dietarias óptimas de fosfolípidos.....	218
4.5. IMPORTANCIA DE LOS LÍPIDOS EN LA RESPUESTA A CAMBIOS DE TEMPERATURA Y SALINIDAD .....	222
4.6. FUENTES DE LÍPIDOS EN PISCICULTURA. BÚSQUEDA DE FUENTES ALTERNATIVAS AL ACEITE DE PESCADO .....	227
4.7. ALGUNOS GRUPOS DE INVESTIGACIÓN ESPECIALISTAS EN NUTRICIÓN LIPÍDICA DE PECES .....	231
AGRADECIMIENTOS .....	234
BIBLIOGRAFÍA .....	234



<b>5. LOS HIDRATOS DE CARBONO EN LA ALIMENTACIÓN DE LOS PECES.....</b>	<b>275</b>
5.1. LOS HIDRATOS DE CARBONO EN LA NUTRICIÓN ANIMAL .....	278
5.2. ¿QUÉ SON LOS HIDRATOS DE CARBONO? .....	279
5.3. UTILIZACIÓN DIGESTIVA DE LOS HIDRATOS DE CARBONO POR LOS PECES.....	284
5.3.1. Enzimas involucradas en la hidrólisis de los hidratos de carbono .....	284
5.3.2. Transporte .....	292
5.3.3. Absorción.....	294
5.4. METABOLISMO DE LOS HIDRATOS DE CARBONO .....	297
5.4.1. Rutas metabólicas principales.....	297
5.4.1.1. Síntesis de glucógeno.....	298
5.4.1.2. Movilización del glucógeno .....	298
5.4.1.3. Glucolisis.....	298
5.4.1.4. Oxidación intramitochondrial .....	299
5.4.1.5. Ruta de las pentosas-fosfato.....	300
5.4.1.6. Gluconeogénesis .....	300
5.4.2. Mecanismos de control .....	301
5.4.3. Metabolismo muscular .....	304
5.4.4. Sobre la pretendida «intolerancia» de los peces a la glucosa .....	308
5.5. FUENTES DE HC Y NIVELES ACONSEJABLES DE INCORPORACIÓN EN LOS PIENSOS PARA PECES .....	312
5.6. CONCLUSIÓN.....	325
REFERENCIAS .....	326
<b>6. VITAMINAS Y MINERALES.....</b>	<b>329</b>
6.1. VITAMINAS .....	332
6.1.1. Dietas experimentales y formas de inclusión de vitaminas .....	332
6.1.2. Vitaminas hidrosolubles.....	333
6.1.2.1. Tiamina.....	334
6.1.2.2. Riboflavina .....	338
6.1.2.3. Piridoxina (Vitamina B <sub>6</sub> ).....	341
6.1.2.4. Ácido Pantoténico .....	343
6.1.2.5. Niacina.....	345
6.1.2.6. Biotina .....	347
6.1.2.7. Ácido fólico (Folacina) .....	349



6.1.2.8. Vitamina B <sub>12</sub> .....	351
6.1.2.9. Ácido ascórbico (Vitamina C).....	353
6.1.2.10. Inositol .....	359
6.1.2.11. Colina .....	361
<b>6.1.3. Vitaminas liposolubles .....</b>	<b>362</b>
6.1.3.1. Vitamina A .....	363
6.1.3.2. Vitamina D .....	366
6.1.3.3. Vitamina E.....	369
6.1.3.4. Vitamina K .....	373
<b>6.1.4. Aspectos ontogénicos de las necesidades de vitaminas en los peces .....</b>	<b>375</b>
<b>6.1.5. Las vitaminas y su relación con la resistencia a enfermedades .....</b>	<b>376</b>
<b>6.2. MINERALES.....</b>	<b>379</b>
6.2.1. Introducción .....	379
<b>6.2.2. Minerales esenciales para peces.....</b>	<b>381</b>
6.2.2.1. Calcio y Fósforo .....	381
6.2.2.2. Magnesio.....	385
6.2.2.3. Sodio, Potasio y Cloro .....	386
6.2.2.4. Hierro .....	388
6.2.2.5. Cobre .....	390
6.2.2.6. Manganeseo.....	391
6.2.2.7. Yodo.....	392
6.2.2.8. Cinc.....	393
6.2.2.9. Selenio.....	395
<b>6.2.3. Interacciones entre vitaminas, minerales y la composición de la dieta en peces .....</b>	<b>397</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>402</b>
<b>7. FORMULACIÓN, INGREDIENTES Y PIENSOS, ADITIVOS, FACTORES ANTINUTRITIVOS, SOSTENIBILIDAD .....</b>	<b>407</b>
<b>7.1. FORMULACIÓN.....</b>	<b>409</b>
7.1.1. Calidad física del pienso.....	409
7.1.2. Sostenibilidad .....	410
7.1.3. Seguridad alimentaria.....	411
7.1.4. Mercado, consumidor .....	411
7.1.5. Calidad óptima del producto final .....	411
7.1.6. Economía .....	412



<b>7.2. INGREDIENTES</b>	412
7.2.1. Materias primas de origen animal	413
7.2.1.1. Harina de pescado	413
7.2.1.2. Aceite de pescado	416
7.2.1.3. Otros (sub)productos de pescado	418
7.2.1.4. Harina de sangre	418
7.2.1.5. Productos de soja	419
7.2.1.6. Maíz gluten	420
7.2.1.7. Productos de colza	421
7.2.1.8. Harina de girasol	422
7.2.1.9. Guisantes	422
7.2.1.10. Habas	423
7.2.1.11. Aceites vegetales	424
<b>7.3. ADITIVOS</b>	425
7.3.1. Minerales	425
7.3.2. Vitaminas	425
7.3.3. Pigmentos	426
7.3.4. Antioxidantes	426
<b>7.4. FACTORES ANTINUTRITIVOS</b>	427
7.4.1. Inhibidores de tripsina	428
7.4.2. Ácido fítico	429
7.4.3. Fitohemaglutininas	430
7.4.4. Gossipol	430
7.4.5. Ácido ciclopropenóico	430
7.4.6. Glucosinolatos	431
7.4.7. Saponinas	431
<b>7.5. SOSTENIBILIDAD</b>	432
<b>REFERENCIAS</b>	434
<b>8. SEGURIDAD ALIMENTARIA EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL, ACUICULTURA</b>	437
<b>8.1. INTRODUCCIÓN</b>	439
<b>8.2. COMPUESTOS ORGÁNICOS</b>	440
8.2.1. Dioxinas	440



8.2.2. Furanos.....	445
8.2.3. PCB's.....	446
8.2.4. «Retardantes de llama bromados» (Brominated flame retardants, BFR's).....	448
8.2.5. Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs).....	449
8.2.6. Plaguicidas.....	450
8.2.6.1. Aldrin/dieldrin.....	452
8.2.6.2. Canfecloro (toxafeno).....	452
8.2.6.3. Clordan.....	454
8.2.6.4. DDT-DDE-DDD.....	454
8.2.6.5. Endosulfán.....	455
8.2.6.6. Endrin.....	456
8.2.6.7. Heptacloro.....	456
8.2.6.8. Hexaclorociclohexano.....	457
8.2.6.9. Hexaclorociclobenceno.....	458
<b>8.3. IONES Y ELEMENTOS.....</b>	<b>459</b>
8.3.1. Arsénico.....	459
8.3.2. Cadmio.....	461
8.3.3. Flúor.....	462
8.3.4. Mercurio.....	463
8.3.5. Plomo.....	464
8.3.6. Nitritos.....	465
<b>8.4. MICOTOXINAS.....</b>	<b>465</b>
8.4.1. Aflatoxinas.....	468
8.4.2. Ocratoxina.....	469
8.4.3. Tricotrecenos.....	472
8.4.3.1. Deoxinivalenol.....	473
8.4.3.2. Toxina T-2.....	473
8.4.4. Zearalenona.....	474
8.4.5. Fumonisinás.....	475
8.4.6. Patulina.....	476
8.4.7. Cornezuelo del centeno.....	477
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>478</b>



<b>9. LA ALIMENTACIÓN DURANTE LA ETAPA LARVARIA EN PECES. DESDE LA APERTURA DE LA BOCA HASTA EL FINAL DE LA METAMORFOSIS .....</b>	<b>481</b>
<b>9.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>483</b>
<b>9.2. ONTOGENIA MORFOLÓGICA Y FUNCIONAL DEL SISTEMA DIGESTIVO .....</b>	<b>486</b>
9.2.1. Desarrollo ontogénico del sistema digestivo de peces marinos .....	488
9.2.1.1. La bucofaringe .....	490
9.2.1.2. El esófago .....	490
9.2.1.3. El estómago .....	492
9.2.1.4. El intestino .....	493
9.2.1.5. Las glándulas digestivas .....	494
9.2.2. Funcionalidad y capacidad digestiva .....	495
<b>9.3. COMPORTAMIENTO ALIMENTARIO .....</b>	<b>499</b>
9.3.1. El inicio de la alimentación, la transición de la alimentación endotrófica a exotrófica .....	499
9.3.2. La predación, la captura e ingestión de presas .....	501
9.3.3. El coste energético y el crecimiento .....	504
<b>9.4. ALIMENTO VIVO .....</b>	<b>506</b>
9.4.1. Microalgas .....	507
9.4.2. Rotíferos .....	508
9.4.3. Artemia .....	510
<b>9.5. ALIMENTO INERTE .....</b>	<b>512</b>
<b>9.6. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LOS MÉTODOS DE ALIMENTACIÓN DURANTE LA CRÍA LARVARIA DE PECES .....</b>	<b>518</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>522</b>
<b>10. NUTRICIÓN Y REPRODUCCIÓN .....</b>	<b>531</b>
<b>10.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>533</b>
<b>10.2. REPRODUCCIÓN: CONCEPTOS BÁSICOS .....</b>	<b>535</b>
10.2.1. Generalidades .....	535
10.2.2. Fisiología de la reproducción en peces .....	535
10.2.3. Modelos de desarrollo reproductivo .....	540
10.2.3.1. Desarrollo de los gametos .....	540
10.2.3.2. Desove o puesta .....	544
10.2.4. Reproducción en cultivo .....	545





10.2.4.1. El medio de cultivo.....	546
10.2.4.2. Puntos críticos en la reproducción .....	546
10.2.4.3. Tratamiento hormonal.....	549
10.2.4.4. Manipulación medioambiental .....	550
<b>10.3. BIOENERGÉTICA .....</b>	<b>550</b>
10.3.1. Balance energético en la reproducción .....	552
<b>10.4. EFECTO DE LA NUTRICIÓN DE LOS REPRODUCTORES EN LA REPRODUCCIÓN DE PECES .....</b>	<b>554</b>
10.4.1. Efecto de la restricción de alimento .....	555
10.4.2. Efecto de la nutrición en la fecundidad de reproductores de peces .....	556
10.4.3. Efecto de la nutrición de reproductores en la fertilización.....	559
10.4.4. Efecto de la nutrición de reproductores sobre el desarrollo embrionario.....	560
10.4.5. Efecto de la nutrición de los reproductores en la calidad de la larva .....	563
<b>10.5. DISTRIBUCIÓN DE LA NUTRICIÓN DE REPRODUCTORES .....</b>	<b>564</b>
<b>10.6. INGREDIENTES DE ALTO VALOR EN LAS DIETAS DE REPRODUCTORES .....</b>	<b>564</b>
<b>10.7. PRÁCTICAS DE ALIMENTACIÓN DE REPRODUCTORES .....</b>	<b>566</b>
<b>10.8. RACIÓN .....</b>	<b>568</b>
<b>10.9. REPRODUCCIÓN Y ALIMENTACIÓN EN LA DORADA .....</b>	<b>569</b>
<b>10.10. REPRODUCCIÓN Y ALIMENTACIÓN EN LA LUBINA.....</b>	<b>576</b>
<b>10.11. REPRODUCCIÓN Y ALIMENTACIÓN EN LENGUADO .....</b>	<b>579</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>582</b>
<b>11. CONTROL NEURAL DE LA INGESTA EN PECES.....</b>	<b>585</b>
<b>11.1. IMPORTANCIA DE LA INGESTA EN ACUICULTURA .....</b>	<b>587</b>
<b>11.2. REGULACIÓN DE LA INGESTA .....</b>	<b>594</b>
<b>11.3. CEREBRO E INGESTA .....</b>	<b>600</b>
<b>11.4. SISTEMAS NEURONALES IMPLICADOS EN LA REGULACIÓN DE LA INGESTA.....</b>	<b>607</b>
11.4.1. Sistemas orexigénicos .....	607
11.4.1.1. Péptidos de la Familia del Neuropeptido Y (NPY).....	607
11.4.1.2. Galanina .....	609



11.4.1.3.	Hormona Estimuladora de los Melanocitos (MCH) .....	611
11.4.1.4.	Orexina o Hipocretina.....	613
11.4.1.5.	Péptidos opiáceos .....	614
11.4.2.	Sistemas anorexigénicos .....	615
11.4.2.1.	Factor liberador de la corticotropina (CRF) .....	615
11.4.2.2.	Trascrito Regulado por la Cocaína y la Anfetamina (CART).....	616
11.4.3.	Sistemas duales (anorexigénicos/orexigénicos) .....	618
11.4.3.1.	Melanocortinas .....	618
11.4.4.	Sistema periférico y regulación a corto plazo .....	621
11.4.4.1.	Colecistoquinina/gastrina .....	622
11.4.4.2.	Bombesina/GRP.....	624
11.4.4.3.	Grelina.....	625
11.4.4.4.	GLP-1/Glucagón.....	627
11.4.5.	Sistema periférico y regulación a largo plazo .....	628
11.4.5.1.	Leptina.....	628
11.4.5.2.	Insulina .....	631
11.5.	CONCLUSIONES.....	633
11.6.	AGRADECIMIENTOS.....	633
	BIBLIOGRAFÍA .....	634
12.	INTERACCIONES ENTRE LOS FACTORES AMBIENTALES Y LA INGESTA DE ALIMENTO .....	649
12.1.	FACTORES ABIÓTICOS .....	653
12.1.1.	Iluminación .....	653
12.1.2.	Temperatura .....	659
12.1.3.	Otros factores físicos .....	662
12.1.4.	Factores químicos .....	664
12.2.	FACTORES BIÓTICOS.....	670
12.2.1.	Estructura social .....	671
12.2.2.	Densidad de cultivo.....	671
12.2.3.	Predadores.....	673
12.2.4.	Perturbaciones humanas .....	674
12.2.5.	Disponibilidad de presas (alimento): Alimentación .....	676



CONCLUSIÓN .....	677
BIBLIOGRAFÍA .....	678
<b>13. ALIMENTACIÓN EN PISCICULTURA</b> .....	695
<b>13.1. INTRODUCCIÓN</b> .....	698
<b>13.2. CUÁNDO ALIMENTAR</b> .....	699
13.2.1. Ritmos de alimentación .....	700
13.2.1.1. Ritmos diarios .....	700
13.2.1.2. Ritmos mareales y lunares de alimentación .....	703
13.2.1.3. Ritmos anuales .....	704
13.2.2. El alimento como sincronizador de los ritmos .....	706
13.2.2.1. Actividad anticipatoria al alimento .....	706
13.2.2.2. Variables que muestran actividad anticipatoria al alimento ....	709
13.2.2.3. Modelos para explicar la actividad anticipatoria al alimento ...	709
13.2.2.4. Estímulo sincronizador de la actividad anticipatoria .....	710
13.2.2.5. Utilidad práctica de la actividad anticipatoria .....	711
<b>13.3. ¿CÓMO ALIMENTAR?</b> .....	711
13.3.1. Sistemas de alimentación .....	711
13.3.2. Registro del alimento no consumido .....	720
13.3.3. Estrategias de alimentación .....	721
13.3.4. Efecto del sistema de alimentación sobre el crecimiento y la eficacia alimentaria .....	722
13.3.5. Estrategias de alimentación en relación con el tipo de instalación ...	730
13.3.5.1. Esteros .....	730
13.3.5.2. Tanques en tierra .....	731
13.3.5.3. Jaulas flotantes .....	732
<b>13.4. ¿CUÁNTO ALIMENTO?</b> .....	733
<b>13.5. ¿QUÉ TIPO DE ALIMENTO?</b> .....	738
13.5.1. Comportamiento alimentario y preferencias dietarias de los peces ....	740
13.5.2. Autoselección de macronutrientes en peces .....	741
13.5.3. ¿Defienden los peces la dieta autoseleccionada? .....	744
13.5.4. Diseño de dietas .....	745
AGRADECIMIENTOS .....	748
BIBLIOGRAFÍA .....	748



<b>14. LOS IMPACTOS DE LA ACUICULTURA: MINIMIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN</b>	755
<b>14.1. INTRODUCCIÓN</b>	758
<b>14.2. IMPACTOS PRODUCIDOS POR LOS CULTIVOS</b>	765
14.2.1. Las estructuras flotantes	766
14.2.2. La especie cultivada	767
14.2.2.1. Moluscos	767
14.2.2.2. Peces	769
14.2.3. La producción de biodepósitos	770
14.2.4. El tráfico de barcos	779
<b>14.3. MINIMIZACIÓN DE IMPACTOS Y GESTIÓN AMBIENTAL</b>	779
14.3.1. Protocolo para la identificación de zonas adecuadas para la instalación de jaulas de cultivo en el mar	780
14.3.2. Protocolo para la gestión medioambiental de las instalaciones de acuicultura en jaulas	784
14.3.3. Programa de vigilancia ambiental	786
14.3.4. Promoción y fomento de los sistemas de gestión medioambiental en el sector acuícola	787
<b>REFERENCIAS</b>	794