

Las dietas como factor de impacto sobre la calidad del agua en sistemas de cultivo intensivo de peces

Wálter Vásquez Torres

Instituto de acuicultura- IALL -Universidad de los Llanos, Villavicencio, Meta
wvasquez@telecom.com.co

Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola
año II, vol. 2, 2007. ISSN 1909 - 8138

Resumen

Durante las últimas décadas la acuicultura ha experimentado un acelerado crecimiento a nivel mundial, con tasas que promedian 8.8% al año, dando como resultado una producción que para el 2004 sobrepasó los 45 millones de toneladas. Los cultivos de organismos acuáticos se han intensificado en gran escala y con ello el uso de enormes cantidades de alimentos industrializados que generan, al ambiente acuático donde se crían los animales, una alta carga de material orgánico constituido por alimento no consumido, heces y desechos metabólicos; todos juntos causan un fuerte impacto sobre el agua, principalmente agotamiento del oxígeno y alteración de parámetros físico-químicos de calidad. Además, la concentración excesiva de nutrientes en el agua puede conducir a procesos de eutroficación, perjudicando la sostenibilidad de los sistemas de producción acuícolas.

Se considera entonces, que es urgente encaminar esfuerzos para reducir la concentración de material particulado y disuelto, especialmente de nitrógeno y fósforo. Se sugieren algunas estrategias para mitigar el impacto del alimento sobre la calidad del agua, entre otras las siguientes: modificar los niveles y métodos de alimentación y aumentar la estabilidad de los concentrados en el agua para reducir los desperdicios por no consumo. Utilizar materias primas de alta digestibilidad y limitar al máximo posible el uso de ingredientes de origen vegetal con bajos coeficientes de digestibilidad, para minimizar pérdidas de nutrientes en las heces; igualmente conocer, con el mayor grado de seguridad posible, los requerimientos de nutrientes de los organismos cultivados, especialmente de proteína, energía, relación proteína/energía y de fósforo, para ajustar las formulaciones con niveles de nutrientes lo mas cercano posible a lo exigido por cada especie en sus diferentes estadios de desarrollo.

Palabras clave: Acuicultura, Alimentación y nutrición, impacto alimento en calidad de agua, excreción en peces.

Introducción

Durante los últimos años la producción mundial de la acuicultura (pescado y organismos acuáticos para la alimentación humana), ha crecido notablemente pasando de menos de 1 millón de toneladas a comienzos de la década de 1950 a 59,4 millones en 2004, incluidas plantas acuáticas. En la actualidad la expansión de la acuicultura continúa, mientras que a nivel mundial las pesquerías (marinas y continentales), de captura parecen haber alcanzado un límite (FAO, 2007). En el decenio de 1980, cuando muchos recursos alcanzaron la plena explotación o incluso una explotación excesiva, los responsables de las políticas a nivel mundial comenzaron a prestar más atención a la

ordenación pesquera, además de ocuparse del fomento de la acuicultura para asegurar el crecimiento de la producción y el consumo de sus productos.

La acuicultura sigue creciendo más rápidamente que cualquier otro sector de producción de alimentos de origen animal y su tasa de crecimiento en el mundo fue del 8,8 por ciento al año desde 1970, mientras que la pesca de captura ha crecido solamente a razón del 1,2 por ciento y los sistemas de producción de carne de cría en tierra, un 2,8 por ciento.

Las estimaciones preliminares de la pesca y la acuicultura mundial para 2005, indican que la producción mundial alcanzó casi los 142 millones de toneladas de las cuales aproximadamente 45.5 corresponden a la acuicultura. De este total aproximadamente 106 millones fueron utilizadas para consumo humano (16.6 kg per cápita/año), 43% provenientes de la acuicultura. Según FAO 2007, el pescado proporcionó a más de 2 600 millones de personas al menos el 20 por ciento del promedio de su aporte de proteínas animales.

Las cifras globales de producción anual indican que aunque en los últimos años el aumento de la producción acuícola ha sido muy superior al crecimiento demográfico, la alta tasa de incremento anual de la población humana hace prever que en los próximos años habrá una ampliación de la demanda de productos de la acuicultura como alimento directo para consumo humano.

Con el propósito de atender la creciente demanda de sus productos, la industria acuícola se ha visto estimulada a expandirse incorporando nuevas áreas de cultivo y de otro lado, implementando cambios en sus sistemas de cultivo para aumentar la producción por unidad de área o de volumen a través de la intensificación, (3-10 kg/m² en estanques y 50- 100 kg/m³ en jaulas).

En estos sistemas de alta densidad de biomasa es indispensable el suministro de grandes cantidades de alimento para proveer a los organismos cultivados todos los nutrientes (en calidad y cantidad), que necesitan para lograr máximo crecimiento en el menor tiempo posible y a costo mínimo.

Esto ha creado algunas dificultades de tipo ambiental ya que en acuicultura, diferente de lo que ocurre en los sistemas de producción en tierra, las interacciones de doble vía entre los organismos cultivados y el medio ambiente acuático son múltiples y altamente dependientes del sistema de cultivo empleado.

La cantidad de alimento que se debe suministrar a un cultivo es directamente proporcional a la intensidad del mismo y en el mismo sentido, mayor es el impacto de éste sobre la calidad del agua ya que ésta es el vehículo que debe soportar, además de los organismos cultivados, la carga de alimento, desechos fecales y productos de excreción. El hecho es que los desechos, solubles y sólidos, son liberados al agua y removerlos de allí no es tarea fácil. Su acumulación afecta la calidad del agua perjudicando de forma directa, la salud de los animales cultivados, ya sea causando lesiones o por otro lado, facilitando la aparición de enfermedades. El resultado a corto plazo es una reducción en la productividad y a mediano y largo plazo, una peligrosa amenaza a la sostenibilidad de la operación acuícola. Minimizar el impacto causado por la adición de alimento al medio ambiente acuático es por lo tanto, el factor clave para garantizar la sostenibilidad de la industria acuícola (Cho & Bureau, 2001)

Principales productos de desecho derivados de la alimentación

Alimento no consumido.

Corresponde a la fracción de materia orgánica que por diversas razones no es ingerido; con alimentos peletizados las pérdidas por finos o por desprendimiento de fragmentos o por nutrientes que se disuelven en el agua, pueden ascender a 8-9% del total ofrecido en comparación con los alimentos extruzados, donde las perdidas son del orden de 2% o menos. Mal manejo de la alimentación, granulometría no apropiada de acuerdo con el tamaño de la boca de los peces, animales enfermos, condiciones medioambientales desfavorables y baja palatabilidad del alimento, son otras, causas comunes que contribuyen a aumentar el desperdicio de alimento. En total las pérdidas pueden ascender a 10-12% del alimento suministrado y en casos extremos, a valores mucho mayores (>20%).

Alimento ingerido pero no digerido (heces).

Durante el proceso de digestión las moléculas complejas presentes en el alimento ingerido son descompuestas en pequeñas moléculas y en fracciones de mayor tamaño. Las primeras son absorbidas atravesando la barrera intestinal y van al interior del organismo para ser metabolizadas y las mayores, que no pueden pasar, son eliminadas en la forma de material particulado. El porcentaje de desechos fecales puede ser del orden de 10-25% del total de alimento suministrado y en muchos casos, hasta 40-50%, dependiendo de los ingredientes utilizados. Las heces están compuestas de carbohidratos solubles (almidón) y fibra (celulosa, hemicelulosa, pectinas, lignina), de proteínas, péptidos y aminoácidos, de lípidos y de minerales (Hardy & Gatlin III, 2002). Las proporciones de estos pueden variar en función la especie de organismo cultivado, de la digestibilidad y tipo de ingredientes utilizados en la elaboración de las raciones (Tabla 1) (Kaushik, 1998) y en algunos casos, del proceso industrial de manufactura.

Tabla 1. Proporción de nutrientes en las heces del total ingerido en salmónidos (Adaptado de Kaushik, 1998)

<i>Nutriente</i>	<i>Origen</i>	<i>Prop. (%)</i>
PB	H. pescado	10-20
	Levadura de cerveza	15-18
	Torta de soya	15-25
	H. Sangre	68
LIP	H. pescado	5-10
	Ac. linoleico y linolénico	10
	Ac. oleico	20
	Ac. Palmítico y esteárico	50
CHOs	Almidón pre-gelatinizado	4
	Almidón de papa	95
P	Levadura de cerveza	10
	H. pescado	40
	P-fitato	80

Productos de excreción

La excreción es el fenómeno fisiológico por el que parte de las moléculas absorbidos por el organismo y que están disueltas en el plasma son liberadas al exterior después de haber sido procesadas y degradadas. Estos desechos metabólicos son compuestos

solubles que son descargados al agua a través de los riñones y de las branquias. En condiciones normales un pez puede eliminar como desechos metabólicos entre 2-15% del alimento ofrecido. Los productos de excreción esencialmente están constituidos por carbono, desechos nitrogenados (amonio, urea, creatinina) y fósforo.

El producto final de la glicólisis de los carbohidratos y de la beta-oxidación de los lípidos es excretado como material disuelto a través de las branquias en la forma de CO₂ (Cho & Boreau, 2001), en una proporción de aproximadamente 50% del carbono ingerido.

Los productos del metabolismo de las proteínas son más complejos y resultan en la liberación de nitrógeno soluble al agua; en peces y camarones 85-90% del nitrógeno es excretado en la forma de amonio vía branquial y el resto en la forma de urea, creatinina y otros compuestos nitrogenados complejos, vía renal. Del nitrógeno total ingerido con el alimento 52-95% puede ser excretado, dependiendo de la especie de pez y de la dieta (Wu, 1995).

La excreción de fósforo en la forma de ortofosfato se realiza con la orina y es generalmente baja, entre 10-20% del total ingerido dependiendo del tipo de pez y de la dieta. Cuanto más alto sea el nivel de fósforo ingerido con respecto a las necesidades de cada especie en particular para deposición en tejidos y crecimiento, mayor será la proporción excretada como material disuelto (Bureau & Cho, 1999)

En resumen, del total de alimento ofrecido, tan solo un 25-35% es retenido en el organismo para crecimiento y formación de gametos. El restante 65-75% es eliminado al medio acuático como material particulado y disuelto (figura 1)

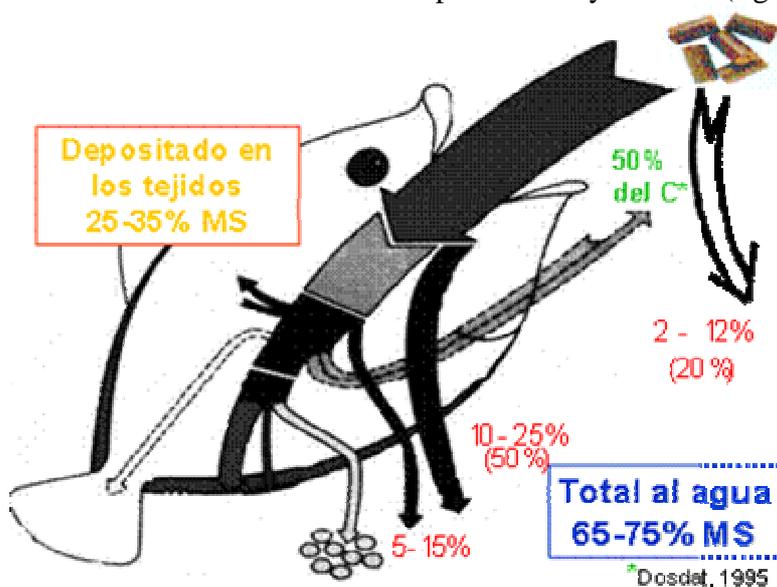


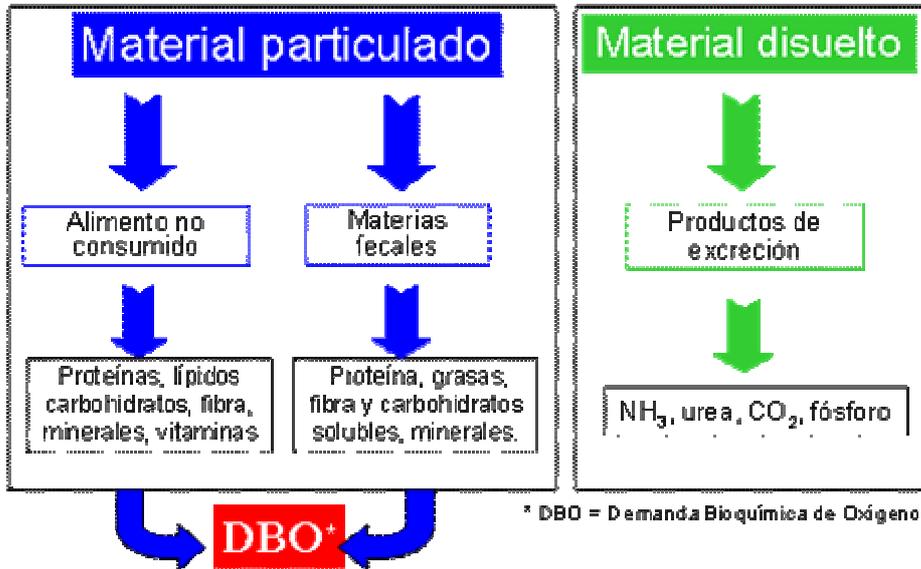
Figura 1. Desechos originados a partir del alimento suministrado a los peces (Adaptado de Dostdat, 1995)

Impacto de los desechos de alimento sobre el medio acuático.

Las prácticas habituales que se utilizan para el cultivo de organismos acuáticos impactan en el medio ambiente a través de distintas formas, principalmente por vía de la alimentación. Como se ha dicho anteriormente, del total del alimento suministrado cerca de un 25% de los nutrientes son asimilados, mientras que un 75% a 80% queda en el ambiente en forma particulada o disuelta en la columna de agua (Figura 2) o como sedimentos en el fondo de las instalaciones de cultivo. Este aporte y concentración local de nutrientes tiene múltiples efectos ambientales que se mencionan a continuación.

Los cambios en la columna de agua incluyen incrementos en los niveles de nutrientes (N y P), aumento de la materia orgánica, alteraciones del pH, de la conductividad y de la transparencia del agua; además, reducción a niveles críticos del contenido de oxígeno disuelto, que en el agua es muy bajo, generalmente menos de 10 g/TM en comparación con el aire que contiene 200 kg/TM.

Figura 2. Tipos de material aportados al medio acuático por los desechos del alimento



La materia orgánica suspendida y disuelta tiene un efecto directo sobre el nivel de oxígeno en el agua. De acuerdo con Kelly & Karpinski, 1994 y Cho & Bureau, 2001, su concentración puede decrecer rápidamente como resultado de la oxidación de la materia orgánica (Demanda Bioquímica de Oxígeno) creando una condición de anoxia, muy nociva para los organismos cultivados; además, se ha observado que bajas en la concentración de oxígeno originadas por DBO, normalmente están asociadas con un aumento en el nivel de CO₂, que es una molécula tóxica para los peces. Un aumento en la concentración de bióxido de carbono en el agua puede causar una sensible reducción del pH, especialmente bajo condiciones de baja alcalinidad, tornando el medio ambiente desfavorable para los organismos cultivados.

El amonio es una molécula muy tóxica que debe ser expulsada del organismo muy rápido después de que se produce. Los organismos acuáticos tienen posibilidad de excretarla fácilmente por difusión a través del epitelio branquial. El amonio de excreción junto con el generado por la descomposición de los alimentos no consumidos y las heces es rápidamente oxidado, primero a nitrito (NO₂⁻) y luego a nitrato (NO₃⁻), un compuesto menos tóxico. Igualmente, bajo condiciones de pH del agua neutro, el NH₃ se ioniza convirtiéndose en ión amonio (NH₄⁺), una forma no tóxica. De todas las diferentes formas del nitrógeno en el agua, el ión amonio y el nitrato representan las principales fuentes de nitrógeno para los productores primarios (Esteves, 1998).

De manera general se considera que el aumento en la cantidad de nitrógeno y fósforo en los sistemas acuáticos por efecto de la acuicultura, generan eutroficación, estimulando la aparición de algunos organismos y la ausencia de otros y alterando gravemente los ecosistemas acuáticos.

El impacto sobre el ambiente acuático causado por los desechos de alimento en los sistemas de cultivo en jaulas, donde las densidades de biomasa para alimentar son extremadamente altas en comparación de los cultivos en estanques, es muy alto y se puede reflejar en un enriquecimiento en nutrientes disueltos e incluso, en un rápido proceso de

eutrofización en el caso de que las áreas destinadas al cultivo sean zonas semiconfinadas. Observaciones llevadas a cabo en diversas piscifactorías han demostrado que en ciertas ocasiones se puede detectar un impacto significativo en un radio muy amplio alrededor de las jaulas de cultivo, siendo éste generalmente mayor en el fondo, donde se puede observar, entre otros efectos, incremento en la demanda de oxígeno, producción de sedimentos anóxicos y de gases tóxicos, cambios en las comunidades, disminución de la diversidad del bentos, alteraciones en la biodiversidad, desarrollo de especies resistentes a la contaminación que pueden resultar dañinas para las especies cultivadas y blooms de fitoplancton.

Estrategias para reducir la pérdida de nutrientes en la acuicultura intensiva

Reducción de desechos sólidos

Una parte de los desechos sólidos que se liberan al agua provienen del alimento que por diferentes razones no es consumido por los organismos cultivados y la otra, de las heces.

a) Seleccionar el tipo de alimento más adecuado.

Hay muchos factores a tener en cuenta para seleccionar el mejor alimento para los cultivos, tal que permita reducir las pérdidas por no consumo; entre otros, se deben considerar por ejemplo la especie o línea genética, el estado de desarrollo y/o edad, en algunos casos diferencias en la temperatura del agua, diferencias en la composición del alimento y en la manufactura, etc. Es prácticamente imposible pensar que un solo tipo de alimento sirva para diferentes individuos en diferentes situaciones.

Aplicar un estricto programa de alimentación acorde al tamaño de los animales, lo que implica un ajuste periódico y racional de las tasas de alimentación sobre datos fiables (registros y muestreos); se deberían utilizar raciones en lo posible específicas para cada especie, de preferencia extrusadas y de granulometría adecuada al tamaño de la boca; igualmente realizar monitoreos permanentes para verificar el adecuado consumo; estas pueden ser las principales aproximaciones para minimizar los desperdicios de alimento.

b) Uso de raciones de alta digestibilidad

Según Hardy & Gatlin III, 2002, varios componentes orgánicos de las dietas además de las proteínas y los lípidos, tales como carbohidratos solubles y fibra, se eliminan como materia particulada con las heces porque no pueden ser digeridos por los peces. De acuerdo con Cho & Bureau, 2001, en los sistemas acuícolas la reducción de desechos sólidos a través de las heces se puede lograr utilizando ingredientes de alta digestibilidad, con altos contenidos de proteína y/o lípidos y excluyendo los de pobre digestibilidad, baja energía y baja proteína tales como granos y semillas que contengan altas cantidades de carbohidratos y fibra (Tabla 2). Además de la composición de nutrientes de las dietas, el proceso de manufactura también puede influenciar la digestibilidad de los nutrientes. La extrusión tiene un efecto de incrementar la digestibilidad de la dieta y reducir la excreción de amonio (NRC,1993). Esto se debe a que el calor y la presión a que se somete la ración en el proceso de extrusión mejora la digestibilidad de los carbohidratos y de esta manera se incrementa la energía digestible no proteica de la misma.

Tabla 2. Valores de digestibilidad de algunos ingredientes de uso común en dietas para tilapias (Adaptado de Sklan *et al.* 2004)

Ingrediente	PB (%)	CDA (%)		
		P	E	MO*
H. pescado	63	90	89	77
Gluten	60	95	79	
T. soya	44	96	83	
Soya Integ.	36	90	84	
T. girasol	38	99	76	
Maiz	8	75	61	30
Sorgo	8	85	69	
Salvado Tr.	15	83	39	30

* (Maina *et al.* 2002)

Para reducir la proporción de desechos con las heces, una posibilidad es que con base en los Coeficientes de Digestibilidad Aparente (CDA) de las materias primas y de sus nutrientes (proteína, energía, lípidos) determinados para cada especie en particular, se formulen raciones de Alta Densidad de Nutrientes utilizando una mayor proporción de aquellos ingredientes que tienen coeficientes de digestibilidad y contenido de proteína más altos, pero manteniendo constante la relación proteína digestible: energía digestible (PD/ED) determinada para la especie en cuestión. De acuerdo con Cho *et al.*, 1994, una ración con estas características podría resultar un poco más costosa, pero los mejores resultados de producción compensarían tal sobre-costos, además de que se obtendría una ganancia de tipo ambiental por reducción de desperdicios sólidos en el agua (Tabla 3).

Tabla 3. Desempeño de dos formulaciones para salmónidos con **Alta** y **Baja** Densidad de Nutrientes (Cho *et al.* 1991)

		BDNutr.	ADNutr.
Ingredientes (%)	Harina de pez	20	35
	Gluten maíz	17	15
	Torta soya	12	14
	Harina Trigo	20	0
	Aceite de pez	13	16
Especificaciones nutricionales	ED (Mj kg ⁻¹)	17	20
	PD (g Mj ED ⁻¹)	22	22
	LipD (%)	16	20
Desechos (Kg TM pez ⁻¹)	Sólidos totales	240	190
	N Sólido	10	6
	N soluble	40	33
	P sólido	4	3
	P soluble	2	1.5

De acuerdo con reportes de la literatura (Hardy & Gatlin II; 2002), los alimentos comerciales que se utilizan en la actualidad para trucha y para salmón son mucho más eficientes que en años pasados debido a la preferencia de uso de ingredientes de alta digestibilidad y la exclusión de los de baja desempeño. La mayor eficiencia se refleja en mejores índices de conversión de alimento y menor cantidad de desperdicios sólidos por unidad de alimento gastado (Figura 3).

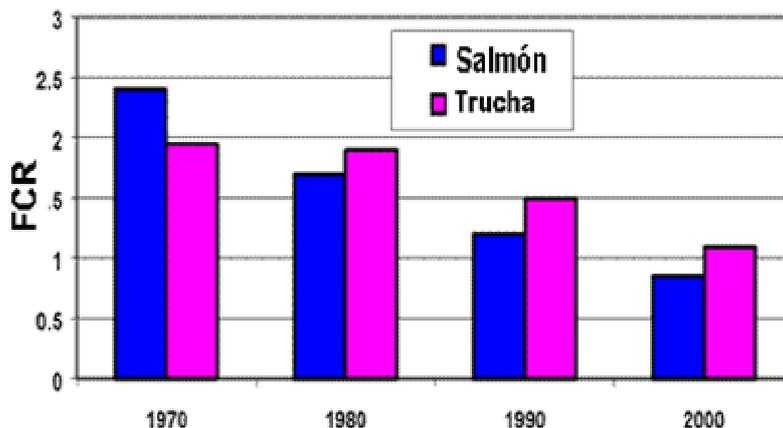


Figura 3. Cambios en la Tasa de Conversión de Alimento (FCR) final para salmón y trucha por uso de dietas con ingredientes de alta digestibilidad (Hardy & Gatlin III, 2002)

Reducción de desechos disueltos

Cada animal obtiene su energía vital alimentándose de moléculas complejas. Una parte de tales moléculas es procesada por el animal para incrementar su biomasa (anabolismo) y el resto es degradado para la obtención de energía (catabolismo) y liberación de desechos metabólicos. Los dos más importantes productos de excreción de los peces son el nitrógeno y el fósforo, los cuales son eliminados vía branquial por difusión simple y vía renal a través de la orina en la forma de desechos disueltos.

Los desechos nitrogenados tienen origen en las reacciones de degradación de las proteínas y de sus componentes básicos, los aminoácidos. Los peces son metabólicamente adeptos a la utilización de la proteína como fuente de energía en lugar de usar carbohidratos y/o lípidos (NRC, 1993). La cantidad y la calidad de la proteína ingerida son factores que influyen sobre la excreción de nitrógeno, siendo la calidad referida al balance de aminoácidos esenciales.

El principal factor que afecta la excreción de amonio es la composición de aminoácidos de la proteína de la dieta. Está demostrado que alimentar peces con dietas que contengan proteínas con perfil de aminoácidos esenciales deficiente, es decir desbalanceado con respecto a las exigencias de la especie en cuestión, propicia el catabolismo de los aminoácidos en exceso, lo cual está asociado con un incremento en la excreción de amonio (Cho & Bureau, 2001).

Por otro lado, se ha observado que raciones con niveles de proteína superiores al nivel de exigencia para máximo desempeño de crecimiento, también aumentan la excreción de nitrógeno. La proteína en exceso no es utilizada para crecimiento y por el contrario es degradada con la consiguiente liberación de energía y amonio (Aksnes et al., 1996). Ballestrazzi et al., 1994 observaron que la excreción de nitrógeno incrementa linealmente con el nivel de proteína en la dieta. (Tabla 4).

Tabla 4 Excreción de nitrógeno en peces marinos (Company et al., 1999)

Pez	PB dieta (%)	Excreción (mg/kg BW /día)	
		NH ₃ -Total	Úrea
Róbalo (Sea-bass)	40	950	-
	55	1300	80
Dorada (Sea-bream)	50	600	25
Dentón (Dentex)		1340*	-

* Amonio + úrea

Igualmente, excesivas concentraciones de proteína en relación con las fuentes energéticas no proteicas (carbohidratos y lípidos) en la dieta, también causa elevados niveles de excreción de amonio (Médalle et al., 1995). Numerosos estudios han mostrado que disminuyendo la relación PD/ED en las dietas, por un incremento en el contenido de energía no proteica resulta en una mayor eficiencia de retención de nitrógeno (McGooan & Gattlin, 1999, 2000). Este resultado es debido a la utilización de las fuentes energéticas no proteicas para atender las necesidades de energía del organismo, fenómeno que en nutrición es denominado “protein sparing” (ahorro de proteína) (Kaushik & Cowey, 1991). La relación PD/ED, que ha sido determinada para diferentes especies de cultivo, regularmente oscila entre 90-110 (Tabla 5).

Tabla 5 Relación PD/ED determinados para algunos peces de agua dulce (Adaptado de Vasquez, 2004)

	PD (%)	ED (cal/g)	PD/ED (mgPD/kcal ED)
Catfish (<i>I. punctatus</i>)	28.8	3070	93.8
Tilapia (<i>O. aureus</i>)	34.0	3200	106.2
Pacú (<i>P. mesopotam.</i>)	26.0	2600	100.0
Matrinxã (<i>B. orbignian.</i>)	29.0	3000	96.7
Carpa (<i>C. carpio</i>)	31.5	2900	108.6
	33.0	3600	91.6
Trucha (<i>O. mykiss</i>)	42.0	4100	102.4
	42.0	4400	95.4

Entonces, usar dietas que contengan proteínas de alta digestibilidad en el nivel adecuado para máximo desempeño de crecimiento o aumentar el contenido de energía digestible no proteica con respecto al contenido de proteína digestible en la formulación, son estrategias de tipo nutricional que pueden ser utilizadas para reducir la excreción de desechos nitrogenados (Kaushik & Cowey, 1991).

El fósforo es un mineral esencial para los organismos acuáticos porque es un componente estructural de los tejidos duros (huesos, dientes, escamas) y constituyente de varias coenzimas, de fosfolípidos y de ácidos nucleicos, además está implicado en el metabolismo de la energía en su papel de molécula de alta energía, el ATP. Es entonces, un elemento muy importante en la dieta de los animales. De manera general se puede considerar que las exigencias para peces son del orden de 0.3 - 0.9% de la dieta, con pequeñas variaciones entre especies (NRC, 1993).

En general, el contenido de fósforo en las principales materias primas utilizadas en la fabricación de raciones para organismos acuáticos es relativamente alto en ingredientes de origen animal como las harinas de pescado, de carne y huesos y bajo en los productos vegetales (Tabla 6). Además, en estos últimos el fósforo normalmente se encuentra formando un complejo fósforo-fitato, que es un compuesto prácticamente indigerible que dificulta la utilización de este mineral por los peces, por carencia de la enzima fitasa, la cual es necesaria para liberar el fósforo (NRC, 1993)

Tabla 6. Valores de digestibilidad del fósforo en ingredientes de uso común en dietas truchas (Sugiura & Hardy, 2000)

Ingrediente	Fósforo total (%)	CDA (%)
Harina pescado	2.2	45-52
Harina de aves	2.2	48-62
H. carne y huesos	5.6	27
Harina de sangre	0.7	> 95
Harina de plumas	1.26	79
Gluten de maíz	0.5	8.5
Soya	0.8	<30
Harina de trigo	1.3	55

Tabla 7. Valores de digestibilidad del fósforo en ingredientes de uso común en dietas para diferentes tipos de pez

Ingrediente	CDA (%)		
	Truchas*	Catfish**	Carpa c.**
Harina de pescado	45-52	60	18-24
H. carne y huesos	27		
H. Sangre	> 95		
H. Plumas	79		
Fitatos	-	1	8
Soya	<30	29	
Harina de trigo	55	28	
Fosfato monocalcico	94	94	94
Fosfato Dicálcico	71	65	46
Fosfato Tricálcico	64	-	13
Fosfato monosódico	98	90	94

* (Sugiura & Hardy, 2000); ** NRC, 1993

De acuerdo con reportes en la literatura, la digestibilidad del fósforo de los diferentes ingredientes de uso común en la fabricación de raciones para peces es altamente variable entre especies, como se muestra en la tabla 7. Los valores de disponibilidad de fósforo de las materias primas son aditivos, es decir, que la suma de los aportes de cada ingrediente de la dieta, será el total disponible. La información de disponibilidad junto con datos referentes a los niveles de exigencia de cada especie en particular, son necesarios para la formulación de dietas que contengan niveles de este mineral en la

proporción justa, ni más alto ni más bajo. Raciones con contenidos abajo del requerimiento no son convenientes ya que causan problemas de deficiencia y cuando los niveles superan las necesidades, el exceso es excretado con la orina.

De acuerdo con lo anterior, las estrategias nutricionales encaminadas a reducir los desechos de fósforo son:

- La obtención y utilización de datos confiables sobre la disponibilidad del fósforo en las diferentes materias primas para cada especie en particular, esto con el fin de reducir la proporción de pérdidas en la heces cuando los niveles en la dieta son muy altos
- Hacer las formulaciones con los valores de fósforo disponible para alcanzar niveles lo más ajustados posible a las exigencias del pez en cada estado de producción (Juveniles, levante, engorde, adultos)
- Uso de aditivos en las raciones que contengan fitasa para mejorar la digestibilidad del fósforo proveniente de productos de origen vegetal

BIBLIOGRAFIA

1. Aksnes, A., Hjertnes, T., Opstvedt, J., 1996. Comparison of two assay methods for determination of nutrient and energy digestibility in fish. *Aquaculture* 140, 343-359.
2. Ballestrazzi, R., Lanari, D., D'Agaro, D., Mion, A. 1994. The effect of dietary protein level and source on growth, body composition, total ammonia and reactive phosphate excretion of growing sea bass (*Discentrarchus labrax*). *Aquaculture* 127, 197-206.
3. Bureau, D. P., Cho, C. Y. 1999. Phosphorus utilization by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Estimation of dissolved phosphorus output. *Aquaculture* 179: 127-140.
4. Company, R., Caldach-Giner, J. A., Perez-Sánchez, J., Kaushik, S. J. 1999. Protein sparing effect of dietary lipids in common dentex (*Dentex dentex*): A comparative study with sea bream (*Spaurus aurata*) and sea bass (*Discentrarchus labrax*). *Aquatic Living Resource* 12, 23-30.
5. Cho, C. Y., Hynes, J. D. Wood, K. R., Yoshida, H.K. 1991. Quantization of fish culture wastes by biological (nutritional) and chemical (limnological) methods: The development of high nutrient dense (HND) diets. In: C. B. Cowey, C. B., Cho, C. Y., editors. *Nutritional Strategies and Aquaculture Waste*. 37-50. Proceeding of the first International Symposium on nutritional strategies in management of aquaculture wastes. University of Guelph, Canadá.
6. Cho, C. Y., Hynes J. D., Yoshida, H. K. 1994. Development of high nutrient-dense, low pollution diets and prediction of aquaculture waste using biological approaches. *Aquaculture* 124, 293-305.
7. Cho, C. Y., Bureau, D. P. 2001. A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. *Aquaculture Research* 32 (Suppl. 1), 349-360.
8. Dosdat, A., Gaumet F., Charlois, H. 1995. Marine aquaculture effluent monitoring : methodological approach to the evaluation of nitrogen and phosphorus excretion by fish. *Aquaculture Engineering* 14, 59-84.
9. Esteves, F. de A. 1998. *Fundamentos de limnologia*. Editora Interciencia/FINEP. Rio de Janeiro, Brasil. 575 pp.
10. FAO, 2007. *El Estado mundial de la pesca y la acuicultura 2006*. Departamento de la Pesca y la Acuicultura de la FAO. Roma 2007. 198 pp.
11. Hardy, R.W., Gatlin, D., 2002. Nutritional strategies to reduce nutrient losses in intensive aquaculture. In: Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M.,

Gaxiola-Cortés, M. G., Simoes, N. (Eds.). Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 3 al 6 de Septiembre del 2002. Cancún, Quintana Roo, México.

12. Kaushik, S. J. 1998. Nutritional bioenergetics and estimation of waste production in non salmonids. *Aquatic Living Resource* 11, 221-217

13. Kaushik S. J., Cowey, C. B. 1991. Dietary factors affecting nitrogen excretion by fish.. In: C. B. Cowey, C. B, Cho, C. Y., editors. *Nutritional Strategies and Aquaculture Waste*. 3-19. Proceeding of the first International Symposium on nutritional strategies in management of aquaculture wastes. University of Guelph, Canadá.

14. Kelly, L. A., Karpinski, A. W. 1994. Monitorig BOD outputs from land-base fish farms. *Journal of Appliet Ichthyology* 10, 368—372.

15. Maina, J.G., Beames, R.M., Higgs, D., Mbugua, P.N., Iwama, G., Kisia, S.M. 2002. Digestibility and value of same feed ingredients fed to tilapia *Oreochromis niloticus* (L). *Aquaculture Reseach*. 33, 853–862.

16. McGoogan, B.B., Gatlin III, D.M. 1999. Dietary manipulation affecting growth and nitrogenous waste production of red drum, *Sciaenops ocellatus*. I . Effects of dietary protein and energy levels. *Aquaculture* 178, 33-348.

17. McGoogan, B.B., Gatlin III, D.M. 2000. Dietary manipulation affecting growth and nitrogenous waste production of red drum *Sciaenops ocellatus*. II. Effects of energy level and nutrient density at various feeding rates. *Aquaculture* 182, 272-285.

18. Médalle, F., Brauge, C., Vallée, F., Kaushik, S. J. 1995. Effect of dietary protein/energy ratio, ration size, dietary energy source and water temperature on nitrogen excretion in rainbow trout. *Water Science and technology* 31, 185-194.

19. NRC (National Research Council). 1993. Nutrients requirements of fish. National Research Council, Washington. D. C., USA. 115 pp.

20. Sugiura, S. H., Dong, F. M., Hardy, R.W. 2000. A new approach to estimating the minimum dietary requirement of phosphorus for large rainbow trout based on non fecal excretions of phosphorus and nitrogen. *Journal of Nutrition* 130, 865-872.

21. Sklan, D., Prag, T., Lupatsch, I. 2004. Apparent digestibility coefficients of feed ingredients and their prediction in diets for tilapia *Oreochromis niloticus* • *Oreochromis aureus* (Telepstei, Cichlidae). *Aquaculture Research*. 35, 358–364.

22. Vásquez-T. W. 2004. Principios de nutrición aplicada al cultivo de peces. Universidad de los Llanos. Villavicencio, Colombia. 101 pp.

23. Wu, R. S. S. 1995. The environmental impact of marina fish culture: Towards a sustainable future. *Marine Pollution Bulletin*. 3, 156-166.