

**IV MASTER UNIVERSITARIO INTERNACIONAL EN ACUICULTURA**  
**Las Palmas de Gran Canaria, España**  
**2006**

**EVALUACIÓN DE LOS APORTES DE NITRÓGENO Y FÓSFORO**  
**AL MEDIO PROCEDENTES DEL ENGORDE INTENSIVO DE**  
**PULPO COMÚN**  
*(Octopus vulgaris, Cuvier)*

**MARÍA JOSÉ MAZÓN MOYA**

**EVALUACIÓN DE LOS APORTES DE NITRÓGENO Y FÓSFORO AL MEDIO  
PROCEDENTES DEL ENGORDE INTENSIVO DE PULPO COMÚN  
(*Octopus vulgaris*, Cuvier)**

MARÍA JOSÉ MAZÓN MOYA

Trabajo realizado en el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario (IMIDA), sección Acuicultura, España, y bajo la dirección de Dr. Benjamín García García y la codirección de Dra. M<sup>a</sup>Dolores Hernández Llorente.

Y presentado como requisito parcial para la obtención del Título de Máster Universitario Internacional en Acuicultura, otorgado por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPG), el Instituto Canario de Ciencias Marinas (ICCM), y el Centro Internacional de Altos Estudios Agronómicos del Mediterráneo de Zaragoza (CIHEAM).

Director

Co-director

Fdo:.....

Fdo:.....

Autora

Fdo:.....

Murcia, a 16 de enero de 2006.

Quisiera agradecer a mi director de tesis Benjamín García García y a mi codirectora M<sup>a</sup> Dolores Hernández el haberme recibido en su centro, el esfuerzo que han realizado para que este trabajo llegara a buen puerto y su apoyo en todo momento. A los doctores Felipe Aguado y Jesús Cerezo por la ayuda prestada y a Pepe García, porque si.

A todo el grupo de la sección de acuicultura del IMIDA: a Maria y Cristino por su ayuda en el laboratorio y su infinita paciencia, a M<sup>a</sup> Carmen y Carmelo por cuidar tan bien de los “bichos”. A Superman -Ángel- por despertar siempre la primera sonrisa de la mañana, y como no, por el pulpo al horno tan rico que prepara. A Pepe, a pesar de no haberme dado el número premiado de la lotería. Gracias también a Jorge, Pedro y Fina.

A Cristina, “perlica”, por se como es y por su amistad y a Eva, por su constante amabilidad.

A Susi por su ayuda desinteresada, por todo lo que hemos pasado juntas en este periodo y por lo que seguiremos pasando (eso espero), muchas gracias.

A mis compañeros de Master y sin embargo amigos Susi, Gonçalo, Verena y Patricia, gracias por las noches de bizcochos y lambruscos.

A la Dra. Marisol Izquierdo, directora del Master Internacional de Acuicultura y al grupo de acuicultura del Instituto Canario de Ciencias Marinas. A Carmen por su cercanía y calidez, a Pipo, a pesar de no venir a vernos y a Dominique por aguantarnos y sobre todo por las risas. A Daniel Montero, Juan Socorro y Javier Roo por su amabilidad y atención.

A Jezabel, le agradezco que haya estado disponible para nosotros en todo momento.

A Moneiba y Carmen, por ser tan simpáticas. Y a Cristina, Martín y Luisa, por todos los favores que nos han hecho.

Gracias a todos por hacer la estancia en las islas afortunadas mas agradable si cabe.

A mis padres, por su apoyo más allá de lo económico y por creer en mí. A mi abuela, mi hermana y mi pequeña *titi*, a pesar de darme las tardes con los “Lunnis”.  
A Juan, por ser y estar, gracias.

A todas las personas que han hecho posible este IV Master de Acuicultura.

*A mi abuela.*

*“Las cosas que vemos son las mismas cosas que llevamos en nosotros. No hay más realidad que la que tenemos dentro. Por eso la mayoría de los seres humanos viven tan irrealmente; porque cree que las imágenes exteriores son la realidad y no permiten a su propio mundo interior manifestarse”. Demian -Hermann Hesse-*

## Índice de contenidos

---

<b><u>Lista de Tablas</u></b> .....	V
<b><u>Lista de figuras</u></b> .....	VI
<b><u>Lista de abreviaturas</u></b> .....	VIII
<b><u>1. Introducción</u></b> .....	1
<b>1.1 Situación actual de la acuicultura marina</b> .....	1
1.1.1 Aspectos generales.....	1
1.1.2 La acuicultura en España .....	2
1.1.3 Diversificación de los productos de la acuicultura.....	3
<b>1.2 Octopus vulgaris. Nuevo candidato para la acuicultura</b> .....	5
1.2.1 Interés acuícola del pulpo común .....	5
1.2.2 Situación actual de la tecnología de su cultivo .....	6
1.2.2.1 Reproducción y cultivo larvario .....	6
1.2.2.2 Alimentación de los adultos .....	8
1.2.2.3 Engorde en jaulas.....	10
<b>1.3. Digestibilidad</b> .....	12
1.3.1 Aspectos generales.....	12
1.3.2 Digestibilidad en cefalópodos .....	14
<b>1.4 Residuos generados por los cultivos en jaulas</b> .....	18
1.4.1 Impactos de la actividad acuícola .....	18
1.4.1.1 Origen .....	20
1.4.1.1.1 Pérdidas de alimento .....	20
1.4.1.1.2 Residuos inorgánicos.....	22
1.4.1.2 Impactos sobre la columna de agua .....	25
1.4.1.3 Impactos en el sedimento.....	26
1.4.2 Estimación de los vertidos.....	27
<b><u>2. Justificación y objetivos</u></b> .....	33
<b><u>3. Material y métodos</u></b> .....	35
3.1 Origen y mantenimiento de los ejemplares.....	35
3.2 Instalaciones experimentales .....	35
3.3 Diseño experimental.....	41
3.3.1 Lotes experimentales .....	41
3.3.2 Calidad del agua.....	42

3.3.3 Alimentación .....	42
3.3.4 Recogida y preparación de las muestras de heces.....	44
3.4 Preparación de las muestras .....	44
3.4.1 Pulpo .....	44
3.4.2 Alimento .....	44
3.4.3 Fracción no comestible.....	45
3.5 Análisis de macronutrientes.....	46
3.5.1 Determinación de la humedad.....	46
3.5.2 Determinación de minerales totales .....	46
3.5.3 Determinación de proteínas .....	47
3.5.4 Determinación de la grasa.....	47
3. 6 Determinación de fósforo .....	47
3.7 Determinación de las cenizas insolubles en ácido.....	48
3.8 Cálculos de los coeficientes de digestibilidad aparente.....	48
3.9 Establecimiento de un modelo bioenergético .....	49
3.10 Análisis estadístico .....	51
<b><u>4. Resultados</u></b> .....	<b>52</b>
4.1 Análisis de macronutrientes .....	52
4.1.1 Composición del alimento .....	52
4.1.2 Composición de los pulpos tras la experimentación .....	52
4.1.3 Composición de las heces .....	53
4.2 Coeficientes de digestibilidad aparente.....	54
4.3 Efecto del peso y del alimento sobre los coeficientes de digestibilidad aparente.....	56
4.4 Estimación de los aportes de N y P de una jaula de engorde de pulpo.....	58
<b><u>5. Discusión</u></b> .....	<b>60</b>
5.1 Composición del alimento .....	60
5.2 Composición corporal de los pulpos.....	60
5.3 Composición de las heces .....	61
5.4 Coeficientes de digestibilidad aparente.....	62
5.5 Estimación de los aportes de N y P en un ciclo de producción de engorde de pulpo .....	66

<u>6. Conclusiones</u> .....	73
<u>7. Bibliografía</u> .....	74
<u>Anexo: Revisión bibliográfica</u> .....	92

### Tablas Capítulo 1: Introducción

Tabla I: Producción pesquera mundial .....	1
Tabla II: Producción piscícola en España.....	3
Tabla III: Producción de pulpo común en España.....	6
Tabla IV: Resultados del cultivo de paralarvas de <i>Octopus vulgaris</i> .....	7
Tabla V : Recursos y desechos de la producción acuícola .....	19
Tabla VI: Estimaciones de desechos de N y P para distintas especies .....	30
Tabla VII: Valores de excreción de amoníaco para distintas especies.....	32

### Tablas Capítulo 2: Material y Métodos

Tabla VIII: Diseño experimental .....	41
Tabla IX: Composición del alimento administrado a los ejemplares en experimentación.....	43
Tabla X: Porcentaje que representa la fracción no comestible del cangrejo y la boga.....	45
Tabla XI: Contenido de nitrógeno y fósforo de la fracción no comestible.....	46

### Tablas Capítulo 3: Resultados

Tabla XII : Composición de los ejemplares de pulpo .....	52
Tabla XIII: Composición de las heces .....	53
Tabla XIV: Coeficientes de digestibilidad aparente.....	55
Tabla XV: Coeficientes de digestibilidad en función del alimento.....	56
Tabla XVI: Coeficientes de digestibilidad en función del grupo .....	56
Tabla XVII: Resultados del análisis de regresión múltiple .....	57
Gráfico 1: Análisis de regresión múltiple para CDA de la grasa.....	57
Tabla XVIII: Balance de N y P en un ciclo de producción de 1 Tm de pulpo.....	58

### Tablas Capítulo 4: Discusión

Tabla XIX: Composición corporal de cefalópodos .....	60
Tabla XX: Coeficientes de digestibilidad aparente en cefalópodos .....	63
Tabla XXI: Coeficientes de digestibilidad aparente de N y P para dorada, atún y pulpo común .....	66
Tabla XXII: Balance de N y P para distintas especies .....	69

### Figuras

Figura 1. Flujo de los principales nutrientes en un cultivo en jaulas flotantes.....	27
Figura 2. Plano 1 de las instalaciones.....	37
Figura 3. Plano 2 de las instalaciones.....	38
Figura 4. Imagen de los tanques de 400 l del circuito A.....	39
Figura 5. Imagen de los tanques de 200 l del circuito B .....	39
Figura 6. Imagen del tanque de expansión, filtro de arena y skimmer del circuito A.....	40
Figura 7. Imagen del tanque de expansión, filtro de arena y bomba de calor del circuito B.....	40
Figura 8. Simulación de vertidos de N y P para una jaula de engorde de pulpo alimentados con boga .....	67
Figura 9. Simulación de vertidos de N y P para una jaula de engorde de pulpo alimentados con cangrejo.....	68

### Tablas y Figuras Anexo

Figura 1: Captura mundial de pulpo común desde 1950.....	96
Figura 2: Presentación esquemática del destino de la energía dietaria en peces.....	104

Tabla I: Energía bruta de los macronutrientes .....	105
Tabla II: Energía digestible de los macronutrientes.....	105
Tabla III: Óptima relación proteína/energía en la dieta de varias especies de peces.....	107
Tabla IV: Tasa de crecimiento, alimentación y conversión para distintas especies de pulpos .....	109
Tabla V: Balance energético preliminar para un ejemplar de 500g de <i>O.vulgaris</i> .....	113

LISTA DE ABREVIATURAS

- CDA:** Coeficiente de digestibilidad aparente
- ERN:** eficacia de retención de nutrientes
- DST:** desechos sólidos totales
- PAA:** pérdidas aparentes de alimento
- DDT:** desechos disueltos totales
- TEA:** tasa de excreción de amoníaco
- CCA:** circuito cerrado A
- CCB:** circuito cerrado B
- CIA:** cenizas insolubles en ácido
- IC:** índice de conversión
- CDAMS:** coeficiente de digestibilidad aparente para sustancia seca
- CDAPRO:** coeficiente de digestibilidad aparente de la proteína
- CDGRA:** coeficiente de digestibilidad aparente de la grasa
- CDAN:** coeficiente de digestibilidad aparente del nitrógeno
- CDAP:** coeficiente de digestibilidad aparente del fósforo

La acuicultura actualmente manifiesta una necesidad creciente de diversificar los productos que oferta, con el fin de abastecer el mercado y hacer más rentable este sector. Al mismo tiempo una dificultad que debe resolver es la preocupación ambiental que ha despertado. La prioridad europea actual de seguridad alimentaria es conseguir una producción más segura y sostenible. Dado que el pulpo común es una de las especies que mayor interés tiene en el Mediterráneo, el presente trabajo pretende aportar datos que permitan evaluar el posible impacto que causaría su cultivo, al realizar una estimación de los posibles vertidos que generaría un ciclo de engorde de pulpo en mar abierto como herramienta para mejorar la gestión de instalaciones futuras y prevenir vertidos.

Se han estudiado los coeficientes de digestibilidad de dos tipos de alimento (boga y cangrejo) para tres pesos corporales. Se ha obtenido que la digestibilidad del nitrógeno no varía ni con el peso ni con el tipo de alimento, presentado un valor de 98,5%. En el caso del fósforo, su digestibilidad no ha variado con el tipo de alimento pero se relaciona inversamente con el peso, teniendo un valor medio de 91,8%.

Del alimento suministrado, la fracción no comestible (caparazones, cabezas, espinas y colas) es la que produce un mayor aporte de N y P, un 67,7% y 86,7% respectivamente en el caso del cangrejo y un 54,65% de N y 77,27% de P en la boga.

De la fracción ingerida la mayor fuente de vertido sería la excreción disuelta (66% para el N y 70% para el P) y tan sólo entre 1,3-1,5% del nitrógeno y 8,2-8,6% del fósforo sería susceptible de acumularse en el fondo.

La principal fuente de impacto ambiental de estas instalaciones vendría básicamente de la fracción no comestible, ya que los aportes de origen metabólico son fundamentalmente por excreción disuelta, y estos son rápidamente dispersos en la columna de agua.

## 1. Introducción

### 1.1 Situación actual de la Acuicultura marina

#### 1.1.1 Aspectos generales

El incremento mundial de la demanda de pescado no sólo ha venido provocado por el crecimiento de la población sino también por un mayor consumo per cápita. Se ha estimado que para el año 2002 el consumo per cápita de pescado fue del 16,2%, un 21% más que en 1992 (13,1%) (FAO, 2004).

El estado actual de las pesquerías mundiales hace que estas sean incapaces de cubrir la demanda creciente de pescado. Desde 1999 las capturas se encuentran estabilizadas, siendo para 2003 de 90,3 millones de toneladas (Tabla I). En 12 de las 16 regiones estadísticas de la FAO por lo menos el 70% de los recursos se encuentran completamente explotados o sobreexplotados, lo cual implica que la pesca ha llegado a su potencial máximo.

**TABLA I: Producción pesquera mundial, excluida China (millones de toneladas)**

	1998	1999	2000	2001	2002	2003 <sup>1</sup>
<b>PRODUCCION</b>						
<b>Continental</b>						
Captura	8,1	8,5	8,7	8,7	8,7	9,0
Acuicultura	18,5	20,2	21,3	22,5	23,9	25,2
Continental total	26,6	28,7	30,0	31,2	32,6	34,2
<b>Marina</b>						
Captura	79,6	85,2	86,8	84,2	84,5	81,3
Acuicultura	12,0	13,3	14,2	15,2	15,9	16,7
Marina total	91,6	98,5	101,0	99,4	100,4	98,0
Captura total	87,7	93,8	95,5	92,9	93,2	90,3
Acuicultura total	30,6	33,4	35,5	37,8	39,8	41,9
<b>Total pesca mundial</b>	<b>118,2</b>	<b>127,2</b>	<b>131,0</b>	<b>130,7</b>	<b>133,0</b>	<b>133,2</b>

<sup>1</sup>Estimación preliminar.

Nota: Con exclusión de plantas acuáticas.

Fuente: FAO, 2004.

La acuicultura, en la actualidad, se perfila como la única posibilidad de cubrir la demanda creciente de pescado. Según datos aportados por la FAO la contribución de la acuicultura al



suministro mundial de pescado, crustáceos y moluscos ha aumentado en un 29,9% en 2002, siendo el sector de producción de alimentos de origen animal que más crecimiento ha experimentado (8,9 % al año desde 1970) mientras que, durante el mismo período, las capturas de la pesca han crecido solamente a razón de 11, 2 % y los sistemas de producción de carne de cría en tierra un 2,8%.

En 2002, la producción mundial de la acuicultura (incluidas las plantas acuáticas) ascendió, según los informes de la FAO, a 51,4 millones de toneladas en volumen y su valor alcanzó los 60.000 millones de dólares EE.UU., lo que representa un incremento anual del 6,1 % en volumen y el 2,9 % en valor, con respecto a las cifras de 2000.

La mayor parte de la producción acuícola de pescados, crustáceos y moluscos sigue procediendo del cultivo en agua dulce (57,7 % en volumen y 48,4 % en valor).

Según los informes de la FAO casi el 42% de la producción acuícola de pescados, moluscos y crustáceos procedió de carpas y otros ciprinidos (16,7 millones de toneladas). La maricultura contribuye al 36,5 % de la producción y al 35,7 % del valor total.

### 1.1.2 La acuicultura en España

Al inicio de los años 80 la acuicultura española estaba constituida por un conjunto de empresas pequeñas y familiares, muy tradicionales. La producción se centraba en trucha arcoiris y en el cultivo de mejillón. A finales de la década de los noventa España experimenta una gran evolución industrial en materia de acuicultura, colocándose en el puesto 14 del ranking mundial de productores acuícolas. La acuicultura española supone el 3% de la producción mundial y el 25% de la europea, por lo que ocupa una posición importante.

Actualmente, la acuicultura continental basa su actividad en la producción de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*), con 30.000 Tm anuales, aunque también se cultivan otras especies como la tenca (*Tinca tinca*), anguila (*Anguilla anguilla*) o esturión (*Acipenser*



*sturio*). La acuicultura marina se centra en el cultivo de bivalvos, destacando el mejillón (*Mytilus edulis*) y en menor medida, el de peces.

Las especies piscícolas que principalmente se producen en España son el rodaballo y el salmón en el Cantábrico y Galicia. En la zona del Mediterráneo y sur del Atlántico los cultivos más importantes son los de lubina y dorada, comenzando a destacar el pulpo, el lenguado y el dentón. Hay que subrayar también el engorde de atún rojo en la región murciana.

**TABLA II: Producción piscícola en España (Tn).**

	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Dorada	6.177,3	8.241,9	9.832,7	11.653,2	12.783,9	<b>13.848,2</b>
Rodaballo	2.849,4	3.378,2	3.636,1	3.954,3	3.821,7	<b>4.364,4</b>
Lubina	1.227,4	1.837,0	2.269,2	3.421,9	4.117,1	<b>4.513,3</b>
Túridos	3.346,5	3.682,2	4.446,7	4.845,9	3.687,0	<b>6.422,6</b>
Salmónidos de mar	617,6	225,5	323,2	300,0	50,0	30,0
Mugílidos	87,5	112,7	114,7	185,8	132,2	154,48
Lenguado	14,4	13,1	42,7	41,9	38,7	57,6
Anguila	238,2	301,6	258,9	294,9	291,5	362,6
Corvina	0,0	0,0	0,0	5,0	3,3	14,4
Tilapia	0,0	0,0	0,0	16,5	127,4	3,0
Besugo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	48,0
<b>TOTAL</b>	<b>14.558,3</b>	<b>17.792,2</b>	<b>20.924,0</b>	<b>24.719,4</b>	<b>25.113,15</b>	<b>29.818,58</b>

Fuente: JACUMAR, 2005.

### 1.1.3 Diversificación de los productos de la acuicultura marina

A pesar de tratarse de un sector creciente, en los últimos años la acuicultura ha experimentado una producción inestable. La centralización de la producción en unas pocas especies (dorada, lubina y rodaballo) esta generando una saturación del mercado que hará finalmente que la producción en la mayor parte de las empresas ya establecidas no resulte igual de rentable. En 1999 se alcanzó el menor precio por kilo de dorada comercializada, aproximado a su precio de coste (Gonzalez-Laxe, 2000).

En la actualidad el sector acuícola ha experimentado una mejoría tras la crisis acontecida en los últimos años, debido a la producción de animales de mayor talla



comercial (Benjamín García García, comunicación personal). Sin embargo, el precio no se está manteniendo estable, sino que está experimentando altibajos. Uno de los motivos de esta inestabilidad ha sido la entrada masiva de pescado procedente de Grecia a precios con los que el resto de países de la Unión Europea no pueden competir.

Los problemas de comercialización están generando una situación delicada, puesto que la dificultad de vender un producto en un mercado ya colmado convierte a este sector en poco atractivo, cuando se trata sin embargo de un sector con múltiples posibilidades, al mismo tiempo que cierra las puertas a la entrada de nuevos inversores. Es por lo tanto interesante y necesario diversificar la producción. Esta es una de las estrategias planteadas, junto con la de expansión de mercados y reducción de costes productivos, ya que permite una mayor flexibilidad ante un cambio de demanda del mercado (Sweetman, 1992)

La búsqueda de nuevas especies, ofertar nuevos productos al consumidor con la misma calidad y garantías que los que actualmente se están comercializando, permitiría aumentar la eficiencia de las instalaciones (Benjamín García García, comunicación personal), mejorando los rendimientos.

A la hora de seleccionar especies potenciales para la acuicultura hay que considerar una serie de criterios entre los que destacan las características biológicas de la especie, tasa de crecimiento, tamaño, edad en alcanzar la madurez sexual, facilidad de reproducción en cautividad, fecundidad y frecuencia de puestas, hábitos alimenticios y aceptabilidad de alimento artificial, eficiencia de conversión del alimento, resistencia a condiciones ambientales desfavorables y capacidad de estabulación (Pillay, 1990). Al mismo tiempo han de tenerse en cuenta consideraciones de consumo y mercado: aceptación por el consumidor, disponibilidad de mercado, valor comercial, etc.

Actualmente existen varias especies de peces en las últimas fases de desarrollo de su



cultivo a nivel industrial como son el pargo (*Pagrus pagrus*), el besugo (*Pagellus bogaraveo*), el lenguado (*Solea senegalensis*) y el sargo picudo (*Diplodus puntazzo*). El pulpo común se encuentra dentro de este grupo y a pesar de no haberse completado su ciclo ya existen explotaciones que están consiguiendo buena producción.

### 1.2 *Octopus vulgaris*. Nuevo candidato para la acuicultura

#### 1.2.1 Interés acuícola del Pulpo común

El pulpo común o de roca (*Octopus vulgaris* Cuvier) es una especie que ha despertado un gran interés en los últimos años, ya que tiene un gran potencial como producto de acuicultura, gran apreciación por el consumidor y un precio de venta atractivo para considerar su producción.

Se trata de una especie con un ciclo de vida corto (12-18 meses), rápido crecimiento (incrementando un 13% su peso corporal al día), una elevada fecundidad y una tasa de conversión de 15-43% (Mangold y Boletzky, 1973; Mangold, 1983; Navarro y Villanueva, 2003), y un alto contenido proteico en su composición corporal (70-90% del peso seco). Además de tener una rápida adaptación a la vida en cautividad (Iglesias *et al.*, 2004) en acuarios, contenedores, raceways y jaulas flotantes, hay que incluir a esto su resistencia al transporte y manipulación. Por último el elevado precio que pueden alcanzar y la amplitud de mercado internacional, convierten al pulpo en un producto de alto interés.

En la actualidad el pulpo está considerado como una especie de interés prioritario de cara a su potenciación en España dentro del área de la acuicultura, existiendo un gran interés en varias Comunidades Autónomas para desarrollar proyectos de engorde, tanto en estructuras flotantes como en tanques. Particularmente, en Galicia ya existen varias empresas que realizan el engorde de pulpo en jaulas flotantes desde 1995 y se está logrando su producción a nivel industrial con resultados satisfactorios.



TABLA III: Producción de pulpo común en España

Año	Producción (Tn)
1997	12
1998	32
1999	31
2000	27,6
2001	14,6
2002	16,7
2003	10,2
2004	12,66

Fuente: JACUMAR, 2005.

## 1.2.2 Situación actual de la tecnología de su cultivo.

### 1.2.2.1 Reproducción y cultivo larvario

Uno de los principales problemas que presenta esta especie es la imposibilidad hasta el momento de cerrar su ciclo biológico. El problema actual está centrado en la supervivencia de la paralarva, un auténtico cuello de botella que impide el cultivo integral de la especie (Iglesias *et al*, 2000).

La paralarva es planctónica las tres primeras semanas, presentando un tamaño al nacer de 3mm de longitud. En el medio natural se alimentan de zoeas de crustáceos y cuando ya adquieren un hábitat bentónico varían más la dieta.

Las experiencias realizadas en este campo han centrado el origen de la mortalidad de estas paralarvas en el tipo de presa que requieren, ya que han de tener un tamaño concreto, variable durante su desarrollo y con un comportamiento natatorio adecuado (Villanueva *et al.*, 1996). Iglesias *et al.* (2002) han usado multitud de presas vivas: zooplancton de medio natural, *Artemia*, ictioplancton y zoeas de crustáceos, consiguiendo los mejores resultados empleando nauplius y metanauplius de *Artemia*. Sin embargo la mayor parte de las paralarvas acaban muriendo.



En 2004, Iglesias *et al.* lograron cerrar el ciclo de este especie. Consiguieron una supervivencia del 31,5% de las paralarvas alimentadas con Artemia y zoeas de *Maja squinado*, una supervivencia en el destete del 10%, y tan sólo un 1,5% de supervivencia en los juveniles.

Navarro y Villanueva (2000 y 2003) han profundizado en los requerimientos nutricionales de las paralarvas a partir de su composición en ácidos grasos. Estos autores han encontrado una fuerte relación entre la dieta administrada y la supervivencia. Las altas mortalidades parecen estar asociadas a una dieta con un perfil de ácidos grasos (DHA/EPA) desequilibrado. El uso de Artemia enriquecida con lípidos polares y PUFA podría mejorar el cultivo de la paralarva.

**TABLA IV: Resultados obtenidos en el cultivo de paralarvas de *Octopus vulgaris*.**

Referencia	Supervivencia	Días de vida	Alimento
Itami <i>et al.</i> 1963	4%	90	Zoeas de <i>Palaemon serrifer</i>
Villanueva, 1994	0,80%	60	Zoeas de <i>Pagurus prideaux</i>
Iglesias <i>et al.</i> , 2000	10%	32	Artemia
Moxica <i>et al.</i> , 2002	2%	56	Artemia y zoeas de <i>Maja squinado</i>
Iglesias <i>et al.</i> , 2004	31,50%	40	Artemia y zoeas de <i>Maja squinado</i>
Carro, 2004	48,13%	-	Artemia
	10,94	-	Zoea de <i>Plagusia depressa</i>
	7,71%	-	Zoeas de <i>Grapsus grapsus</i>

La supervivencia de la paralarva parece ser que está también influenciada por la temperatura ya que afecta en su cambio a vida bentónica cuando la paralarva alcanza una talla crítica (>7.5mm de longitud del manto sin tener en cuenta la edad) (Forsythe, 1993).

Esta situación provoca que por el momento la producción industrial de pulpo dependa de las capturas de juveniles del medio natural (700-800g). Las capturas se encuentran



limitadas a determinadas tallas. Para las aguas interiores de la región de Murcia según la ORDEN APA/973/2002 de 23 de abril, no hay restricción de talla de captura si su destino es la acuicultura, y siendo de más de 1 Kg si su destino es la venta.

### 1.2.2.2 Alimentación de los adultos

Un problema que limita su producción comercial es la incapacidad para generar una dieta artificial, barata y almacenable (O'Dor y Wells, 1987). La falta de un pienso que asegure una continuidad en el alimento y no depender de la pesca a gran escala es un factor que condiciona su producción. Experimentalmente se han realizado algunos diseños de dietas formuladas para cefalópodos (sepia y pulpo común) basadas en langostinos (Lee *et al.*, 1991; Castro *et al.*, 1993 y 1994), sin embargo los resultados obtenidos en cuanto a crecimiento no son equiparables a los obtenidos con dietas naturales, debido posiblemente a una baja digestibilidad y deficiencias nutricionales.

En España el engorde de pulpo se encuentra todavía en fase de desarrollo, centrándose las principales actividades en las costas del Atlántico y del Mediterráneo. Experiencias realizadas en Galicia (Iglesias *et al.*, 1997; Luaces y Rey, 1999; Rodríguez y Carrasco, 1999) y en el Mediterráneo (García García y Cerezo, 2004; Aguado y García García, 2002; García García y Aguado, 2002) han aportado resultados excelentes empleando dietas mixtas de cangrejo, mejillón y pescado.

El crecimiento e índice de conversión depende en gran medida de la dieta empleada. Los trabajos realizados en el engorde con dietas naturales han mostrado que el crecimiento y la eficiencia de alimentación depende de las especies que componen dicha dieta (Cagnetta y Sublimi, 2000; Aguado y García García, 2002, García García y Aguado, 2002; Tuñón *et al.*, 2002), ya que el crecimiento de pulpos alimentados con crustáceos es mejor que los alimentados con pescado o dieta mixta. De forma que en los alimentados sólo con pescado el



crecimiento es mucho más pobre, influyendo además el contenido en lípidos de las distintas especies (García García y Aguado, 2002) de forma que el pulpo alimentado con boga (6% de lípidos en materia húmeda) tiene mayor crecimiento que los alimentados con sardina (20% de lípidos). Los ensayos de engorde en jaulas realizados por Tuñón *et al.* en 2002 sugieren que la ausencia de cangrejos en la dieta favorece que la mortalidad sea más elevada. García García y Cerezo (2005, en prensa) sugieren que el origen puede ser la necesidad que tienen los cefalópodos de cobre, siendo los crustáceos una buena fuente de este elemento.

La forma de alimentación que tiene el pulpo común es un aspecto muy importante a tener en cuenta a la hora de diseñar piensos ya que pueden sufrir mucha disgregación y dispersión de los nutrientes. Cuanto más se ajuste la dieta empleada en el engorde a su dieta natural mejor serán los resultados esperados. Sin embargo las dietas para pulpo no es fácil estandarizarlas ya que dependen de las capturas locales.

Uno de los problemas manifiestos en el Mediterráneo es que la disponibilidad de cangrejo procedente de descartes de la pesca es escasa, siendo su precio elevado. Esto puede generar que si la producción de pulpo aumenta, aumentará por lo tanto la demanda de cangrejo no siendo rentable ni viable una alimentación exclusiva o mayoritariamente a base de crustáceos. De tal forma que la industria de pulpo en el Mediterráneo se verá obligada a usar pescado de bajo valor de mercado, como pequeños peces pelágicos. Estas especies se puede diferenciar en dos grupos en función de su contenido lipídico: pescado azul, que incluye a *Sardina pilchardus* y *Sardinella aurita*, cuyo contenido en lípidos es mayor que el grupo de pescado blanco, formado por *Boops boops* y *Trachurus mediterraneus*.

Esta distinción resulta ser muy importante ya que hay que considerar que la digestibilidad de lípidos en pulpo es muy baja e ineficaz, puesto que se ha encontrado que animales alimentados con dietas con un alto contenido en lípidos generan heces aceitosas



(O'Dor *et al.*, 1984). Además los cefalópodos carecen de emulsionantes lipídicos en su tracto digestivo (Vonk, 1962) y por lo tanto su capacidad para catabolizar lípidos es limitada (Mommsen y Hochachka, 1981; Navarro y Villanueva, 2000).

García García y Aguado (2002) encontraron influencias de la dieta en el crecimiento, la ingesta de alimento y en la eficiencia de alimentación en ejemplares de pulpo. Los ejemplares alimentados con boga (5,94% de lípidos en sustancia húmeda) dieron mejores resultados que los alimentados con sardina (19,64% de lípidos), siendo el origen de estas diferencias la composición lipídica de las dietas. La ingesta de alimento del grupo alimentado con sardina fue superior, lo cual pudo ser debido a que un mayor contenido de lípidos en el intestino genera una menor absorción de aminoácidos, por lo tanto el individuo trata de compensar la baja digestibilidad de la proteína incrementando la ingesta.

El trabajo realizado por Aguado y García García (2002) refleja que los ejemplares alimentados con cangrejo prácticamente doblaban el peso de aquellos alimentados con boga, dando un FCR de 3,26 los primeros y de 2,46 los segundos. Sin embargo alimentarlos exclusivamente de cangrejo no parece ser la mejor estrategia a seguir, ya que el precio del cangrejo en las costas del Mediterráneo español es superior al de la boga (1,342 €/kg frente a 0,34 €/kg). Sin embargo una dieta basada exclusivamente en pescado, a pesar de resultar más económica, es deficiente en algún nutriente y por lo tanto limita el crecimiento. García García y Cerezo (2005) proponen una dieta combinada, pudiendo sustituir el 50% del cangrejo por boga sin afectar al crecimiento ni a la rentabilidad.

### 1.2.2.3 Engorde en jaulas

El sistema de cultivo en tanques en tierra está limitado fundamentalmente por la escasez de terreno adecuado para montar las instalaciones y el coste de las mismas, teniendo que proporcionar una temperatura óptima del agua de 18°C. El sistema de cultivo en jaulas



parece ser el de mayor futuro, siendo el sistema que se está empleando en la actualidad por las empresas ubicadas en Galicia.

En el Mediterráneo por razones de ámbito ambiental y turístico solo es posible ubicar este tipo de instalaciones a una cierta distancia de la costa. La tendencia en las Comunidades Autónomas con litoral Mediterráneo es que las instalaciones se ubiquen en áreas con profundidades superiores a 30m, sobre fondos detríticos y alejados de la costa, es decir cultivos “offshore”.

Dado que las condiciones en mar abierto no son las mismas que en las Rías Gallega, las jaulas a emplear necesitarían un sistema de anclaje diferente, próximo a los empleados para las jaulas de peces en mar abierto, que le confiera al sistema flexibilidad frente a los temporales. Las condiciones en mar abierto en el Mediterráneo son muy diferentes a las de las Rías Gallegas por lo tanto los parámetros de cultivo también lo serán.

Un aspecto muy importante que tiene un efecto capital sobre la rentabilidad de la explotación es la carga de cultivo (kg de biomasa/m<sup>3</sup>). Los ensayos de engorde realizados en Asturias (Rodríguez y Carrasco, 1999) bajo distintas densidades de cultivo, 24,5 kg/m<sup>3</sup> y 10,7 kg/m<sup>3</sup>, encontraron una mortalidad del 41% y 17% respectivamente y un incremento en peso diario de 7,02g y 29,39g respectivamente. Estos datos sugieren que la carga inicial influye en la supervivencia y en el crecimiento, estableciendo una carga óptima inicial de 10-12 kg/m<sup>3</sup>. Tuñón *et al* (2002) determinaron que una densidad de cultivo de 12 kg/ m<sup>3</sup> permite un buen crecimiento siempre que no se alcancen pesos de 3 kg, ya que con estas tallas la tendencia es a incrementar la mortalidad y a reducir el peso. Además encontraron que si bien los individuos con peso inicial inferior o igual a 1kg tienen mejor índice de crecimiento que los de más de 1kg resulta más rentable económicamente iniciar el cultivo con tallas mayores (1,5kg) ya que



se alcanza antes la talla comercial más cotizada en el mercado, reduciéndose así el índice de mortalidad.

La influencia de la carga en la supervivencia y crecimiento puede ser debida a factores propios de la especie ya que se trata de un animal territorial y con comportamientos de canibalismo hacia sus congéneres, pero también debido a las condiciones de renovación del agua dentro de la jaula. En Galicia la mayor productividad primaria de las rías hace que el crecimiento de organismos en las paredes de las jaulas (algas e invertebrados marinos sésiles) sea muy alto y esto contribuya a disminuir la capacidad de renovación de agua dentro de la misma, y sea este factor el que límite, de una forma directa o indirecta, el valor óptimo de la carga de cultivo. En el Mediterráneo, en mar abierto, la productividad primaria es mucho más baja y el crecimiento de organismos en las paredes de las jaulas debe ser menor. Por otro lado, en estas áreas el hidrodinamismo (oleaje, corrientes) es mucho más activo por lo que la renovación dentro de la jaula debe ser más importante que en las rías o en zonas protegidas. No obstante, el mayor hidrodinamismo puede también implicar una disminución de los rendimientos (pérdida de días de alimentación en temporales, movimiento de la estructura, etc.) y una mayor vigilancia de la explotación, y traducirse en un factor negativo de la rentabilidad.

García *et al.* (2005,b) realizaron un análisis de costes de este tipo de explotaciones, encontrando que actualmente se trata de un negocio de rentabilidad baja y de alto riesgo.

### 1.3. Digestibilidad

#### 1.3.1 Aspectos generales

Los estudios de digestibilidad en acuicultura tienen importancia porque mejoran el conocimiento de la utilización de los nutrientes, mejora la calidad de los alimentos que se



elaborarán y permiten una disminución de los desechos de origen alimentario, reduciendo así el impacto ambiental en la zona de cultivo (Guillaume *et al.*, 2004).

Valorar cómo el animal utiliza el alimento requiere averiguar cómo la comida es ingerida y los nutrientes que contiene absorbidos y retenidos. Para realizar estos estudios de digestibilidad es necesario disponer de un método rápido, preciso y simple para cuantificar las heces.

El coeficiente de digestibilidad aparente describe la porción de dieta que es absorbida menos los materiales perdidos por el intestino en el proceso de ingestión y de digestión (mucosa intestinal y enzimas digestivas).

$$\text{CDA} = (\text{ingesta} - \text{fecal}) / \text{ingesta}$$

El coeficiente de digestibilidad real tiene en cuenta en el balance la posible existencia de material de origen endógeno en las heces (fundamentalmente lípidos, aminoácidos y minerales). Este índice se utiliza comúnmente en métodos empíricos porque resulta difícil determinar la fracción endógena (Guillaume *et al.*, 2004).

$$\text{CDR} = \text{ingesta} - (\text{fecal} - \text{fecal endógeno}) / \text{ingesta}$$

La determinación de la ingesta y la recogida de las heces de animales acuáticos resultan en ocasiones difíciles, es por ello que los estudios de digestibilidad en la mayoría de casos se han realizado empleando un marcador. Los marcadores de digestibilidad deben ser sustancias indigestibles y no absorbibles, no deben alterar las propiedades organolépticas del alimento, deben tener un transporte a través del digestivo similar al resto de alimentos y no deben interferir el proceso de digestión y absorción (Schneider y Flatt 1975).

El primer marcador empleado en estudios de digestibilidad en rumiantes, óxido



crómico ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), fue propuesto por Edin (1918, en Morales *et al.*, 1999) y su utilidad en peces fue confirmada por Nose (1960 y 1961, en Morales *et al.*, 1999). A pesar de que este marcador ha sido ampliamente utilizado en los trabajos de digestibilidad en peces, se han buscado nuevas alternativas, marcadores internos (del alimento administrado) o marcadores externos (adicionados a la dieta). Gracias a los esfuerzos realizados en este campo se han obtenido una gran variedad de marcadores.

La utilización de componentes internos indigeribles o la adición de marcadores externos eliminan la necesidad de realizar una recolección cuantitativa de las heces, pero requiere una recolección representativa de las mismas (Maynard *et al.*, 1969).

De esta forma el CDA se calcula mediante la relación:

$$CDA = 100 - \left( 100 - \frac{\% \text{ marcador en a lim ento}}{\% \text{ marcador en heces}} \right)$$

Y de la misma forma se puede medir la digestibilidad de un nutriente:

$$CDA = 100 - \left( 100 - \left( \frac{\% \text{ marcador en a lim ento}}{\% \text{ marcador en heces}} \right) * \left( \frac{\% \text{ nutrientes en heces}}{\% \text{ a lim ento en heces}} \right) \right)$$

### 1.3.1 Digestibilidad en cefalópodos

El empleo de marcadores externos resulta fácil y sencillo cuando se trata de una dieta artificial, ya que en el proceso de fabricación se pueden adicionar.

En el caso de cefalópodos esta opción no existe debido a la carencia todavía de piensos en los que se puedan introducir trazadores. Tampoco es factible inyectar los marcadores en la dieta natural ya que debido a la manipulación prolongada que realizan del alimento se produciría muchas pérdidas de los mismos. Por lo tanto la forma más sencilla de realizar los estudios de digestibilidad es recurriendo a los minerales insolubles en ácido.



Existen pocos trabajos centrados en la digestibilidad de dietas y asimilación de nutrientes en cefalópodos y los datos al respecto son pocos y dispersos.

El trabajo realizado por O'Dor *et al.*, en 1984, analiza la absorción de nutrientes, su almacenamiento y movilización en *Octopus vulgaris*. En este trabajo se emplearon pulpos procedentes del medio natural y en estado de inmadurez, y se llevaron a cabo dos tipos de experiencias, a corto (24 horas de duración) y largo plazo (hasta 28 días de duración).

El alimento administrado, cangrejo exclusivamente, era marcado radioactivamente, con la finalidad de poder seguir estos trazadores y evaluar así su absorción, distribución en los órganos y posterior consumo.

En los experimentos a corto plazo el alimento consistió en cangrejo parcialmente digerido por otros pulpos y homogeneizado con los marcadores radioactivos (L-(U-<sup>14</sup>C)Leucina, D-(U-<sup>14</sup>C)glucosa y (U-<sup>14</sup>C)ácido palmítico). A lo largo de toda la digestión se hizo seguimiento de la producción de <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> y transcurrido el experimento tomaron muestras de brazos, manto y glándula digestiva que fueron homogeneizadas para su análisis.

El grupo alimentado durante 28 días era inyectado a través del corazón branquial con <sup>14</sup>Cglucosa, leucina y (U-<sup>14</sup>C) proteína hidrolizada. En este caso también realizaron medidas de <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>. Transcurridos 17 días sometían a los animales a ejercicio continuo, hasta quedar exhaustos.

De los análisis realizados en el grupo de 24 horas dedujeron que la leucina es asimilada rápidamente, entre 9 y 24 horas tras su ingesta. La glucosa era también asimilada rápidamente, permaneciendo más tiempo accesible transcurridas 24 horas. La asimilación de palmitato era bastante más lenta y tanto su absorción como catabolismo se incrementaba transcurridas 24 horas.



El análisis de tejidos mostró que el músculo es el lugar de mayor acumulo de marcadores pertenecientes a glucosa, siendo también muy abundantes los de leucina (39% y 30,6% respectivamente). La presencia de marcadores de glucosa en el músculo es mayor que en el manto, siendo al revés para el palmitato. Mientras que la mayor acumulación de marcadores de palmitato se detecta en la glándula digestiva (20%).

En el grupo alimentado durante 28 días detectaron que los marcadores de leucina y glucosa se estabilizan transcurridos 2 y 5 días respectivamente, mientras que para el palmitato son necesarios hasta 8 días. Finalmente la digestibilidad aparente de la leucina, glucosa y palmitato fueron respectivamente del 96, 98 y 46%.

De todo ello se deduce que la proteína es empleada fundamentalmente para crecimiento y como fuente de aminoácidos en la ovogénesis, por lo tanto no sería apropiado el empleo de ella como fuente de energía, sino que se debería reservar para tales fines. Paradójicamente esta es al mismo tiempo uno de los nutrientes más conservados y más empleados como fuente energética, lo cual podría explicarse por su abundancia en la dieta. Los carbohidratos son una fuente rápida de energía, son rápidamente catabolizados y se emplean como combustible para la actividad locomotora. Al ser una actividad de bajo nivel puede ser cubierta con la ingesta diaria de carbohidratos, no siendo necesario almacenar grandes cantidades. Es por ello que sólo una pequeña parte de los carbohidratos son almacenados en el músculo en forma de glucógeno.

Con este experimento se evidenció también que su capacidad para oxidar grasas es bastante limitada, sin embargo suelen presentar cantidades importantes de las mismas almacenadas en su glándula digestiva. Carecen de emulsionantes lípidicos en su digestivo (Vonk, 1962) y por lo tanto su capacidad para catabolizar lípidos es reducida (Mommsen y Hochachka, 1981; Navarro y Villanueva, 2000).



Esto sugiere que los lípidos podrían ser un componente limitante para el crecimiento del pulpo y también para la formación de huevos.

Las experiencias realizadas por Boucher-Rodoni y Mangold (1985) sugieren que las reservas movilizadas no son exclusivamente proteínas. En inanición la excreción de amonio se reduce, así como el consumo de oxígeno, mientras que la relación O:N aumenta. En estas condiciones antes de movilizar exclusivamente proteínas, se emplean los lípidos como fuente de energía. Una vez que los lípidos han sido consumidos, los pulpos reanudan el metabolismo proteico.

La relación entre proteína y energía es usada habitualmente para predecir las mejores fuentes de energía y los niveles que deben contener las dietas preparadas. El óptimo valor P/E para peces y crustáceos se sitúa entre 20-30 g/MJ (Cowey *et al.*, 1985). En el caso de la sepia Lee (1994) encontró que el mejor crecimiento lo daban con un ratio P/E de 50. Esta relación es superior a la de teleósteos debido posiblemente a la dominancia del metabolismo proteico y al uso que realizan de los aminoácidos como fuente de energía. Lee considera además que diferenciar proteína de energía en el caso de los cefalópodos no tiene mucho sentido, ya que para ellos proteína es sinónimo de energía. De esta forma la relación P/E sería un método pobre para establecer los requerimientos energéticos en cefalópodos (Lee, 1994). La alternativa que plantea podría ser la realización de un balance optimizado de los niveles de aminoácidos en la dieta para asegurar el aporte de aquellos que son el substrato de su metabolismo energético y los imprescindibles para la síntesis proteica.

El balance P/E en el pulpo común no ha sido muy estudiado. Recientemente Miliou *et al.* (2005) han evaluado este ratio en función de la temperatura y peso corporal, encontrando que es independiente y proporcionando unos valores (en g proteína/MJ) de 38,93 a 15°C, 38,96 a 20°C y 38,83 a 25°C.



Esto es relevante para trabajos realizados hasta ahora en dietas artificiales para cefalópodos, ya que hay que considerar que los aminoácidos esenciales deben ser ingeridos antes de que se alcance la sensación de saciedad.

### 1.4 Residuos generados por los cultivos en jaulas.

#### 1.4.1 Impactos de la actividad acuícola

El rápido incremento de la producción acuícola en el Mediterráneo durante los últimos 15 años además de producir beneficio económico ha provocado la aparición de conflicto con otros usos del litoral (navegación, pesca, turismo, industria, etc.). En los últimos años el turismo es la actividad que presenta mayor competencia por el espacio costero, ya que está siendo una de las principales fuentes de ingreso de los países de la cuenca mediterránea. El desconocimiento generalizado que se ha tenido sobre el impacto de este tipo de instalaciones, de los aportes que liberan al medio y que supuestamente generan su degradación, a menudo ha despertado y despierta cierta oposición en grupos ambientalistas. Sin embargo la producción acuícola ha hecho un gran esfuerzo en los últimos años para minimizar al máximo los posibles impactos, fundamentalmente porque la producción depende directamente de la calidad de las aguas receptoras. Una prioridad actual para la Unión Europea es garantizar una producción más segura e inocua para el medio ambiente (SFPEC, 2002) y la acuicultura está buscando acercarse a este desarrollo sostenible.

La acuicultura al igual que el resto de actividades humanas de índole económica consume una serie de recursos y se desprende de los desechos derivados de sus procesos productivos (Aguado, 2001).



**TABLA V: Recursos y desechos más significativos de los procesos de producción de la acuicultura (Aguado, 2001)**

<b>Recursos utilizados</b>	<b>Desechos producidos</b>
Ocupación del espacio	Metabólicos (heces, $\text{NH}_4^+$ , mucus etc.)
Agua	Alimento no ingerido
Semilla ( juveniles o reproductores capturados del medio natural)	Agentes profilácticos y terapéuticos
Alimento (principalmente derivados de productos de la pesca)	Sustancias antifouling
Materiales de construcción	Mortalidad y escape de ejemplares

El grado de impacto de los desechos acuícolas depende en gran medida del sistema de cultivo, tipo de especie, la intensidad y el tipo de alimento, así como de las características del medio receptor a nivel físico, químico y biológico (Wu, 1995; en Vita, 2004). En los cultivos de peces en jaulas en mar abierto, que son los que mayoritariamente se están desarrollando en el Mediterráneo y Canarias, los mayores impactos suelen ocurrir sobre el lecho marino y en un área localizada alrededor de la granja.

La perdurabilidad de toda industria acuícola esta directamente relacionada con el impacto generado por su actividad, ya que la aprobación de las concesiones por parte de las autoridades competentes vendrá influida por el manejo y gestión que se esté realizando. En la actualidad la mayor fuente de impacto ambiental en este sector son los aportes al medio procedentes de pérdidas de alimento, heces y excreción. El primer paso pues para reducir estos aportes es emplear ingredientes más digeribles, eliminando los que tienen una digestibilidad aparente pobre (Cho *et al.*, 2001).

A la hora de estimar estos aportes al medio, resulta muy difícil poder cuantificar los procedentes de la excreción ya que son lavados y dispersos rápidamente por el medio acuoso al que son vertidos. Además debido a ese lavado generan un impacto menor que el provocado por los residuos sólidos (restos de comida no ingerida o heces fecales).



Para poder conocer como son los desechos vertidos por estas producciones es interesante saber primero como se hace el aprovechamiento del alimento, por lo tanto reconstruir su modelo energético, evaluando los desechos.

Existen varios factores que determinan la cantidad de los efluentes derivados del cultivo de organismos marinos:

- Especie
- Edad y talla
- Método e intensidad
- Pautas de manejo
- Temperatura y actividad de los animales
- Tipo de alimento
- Eficiencia de la conversión del alimento
- Modalidad de descarga del efluente y grado de dilución anterior a la descarga del mismo.

Además la metodología empleada para realizar las estimaciones y los resultados de las mismas son muy variables, lo cual dificulta la comparación de los resultados (Barg, 1992).

### 1.4.1.1 Origen

#### 1.4.1.1.1 Pérdidas de alimento

Cuando los organismos son alimentados una parte de este alimento no es ingerida y permanece en el medio como materia orgánica en descomposición.

Una buena estrategia alimenticia es la clave del éxito económico y de la sostenibilidad de la producción acuícola, ya que se reducen los costes de alimentación al tiempo que se reducen los aportes de residuos al medio (Cho *et al.*, 2001).

La cantidad de alimento que se pierde está influida por la eficiencia de alimentación,



la composición del alimento, el método que se emplea para alimentar, las corrientes y la configuración y situación de las jaulas (Brooks *et al.*, 2002).

Beveridge *et al.* (1991, en Brooks *et al.*,2002) encontraron pérdidas de alimento que alcanzaban hasta el 30% del total suministrado. Las pérdidas según Rosenthal *et al.* (1995, en Brooks *et al.*,2002) son del 35% (para alimento húmedo). Para Weston (1986, en Brooks *et al.*,2002) las pérdidas de pienso en salmones son inferiores al 5%, valor que se asemeja a los valores de 1-5% en alimento seco obtenidos por Gowen y Bradbury (1987, en Brooks *et al.*,2002 ).

Las pérdidas están condicionadas por la estrategia de alimentación empleada, ya que Cross (1990, en Brooks *et al.*,2002 ) encontró que cuando el alimento era suministrado manualmente las pérdidas ascendían a 3,6%, siendo de 8,8% cuando se empleaban alimentadores automáticos.

Una medida de corrección sería emplear una ración adecuada, teniendo en cuenta la especie cultivada, la talla y la época del año (el metabolismo cambia con la temperatura y el peso corporal), para obtener mayor eficiencia de alimentación y reducir así la entrada de materia orgánica al medio. También emplear dietas con mejor balance de aminoácidos y con una composición adecuada a los requerimientos de energía que tiene la especie cultivada.

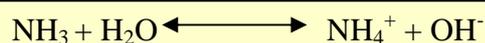
Este aspecto resulta interesante a tener en cuenta en el desarrollo futuro de una dieta artificial para el pulpo común, ya que de esta forma se podrán reducir los desechos. Actualmente al emplear en su alimentación crustáceos, pescado y moluscos resulta más limitado poder controlar los desechos que se generan, si bien, es posible de entre ellos seleccionar aquellos alimentos con mayor grado de aprovechamiento (IC o IEA) como es el caso de la boga frente a la sardina (García García y Aguado, 2002)



### 1.4.1.1.2 Residuos inorgánicos

Los peces excretan el nitrógeno en forma de amonio, urea, ácido úrico y aminoácidos (Jobling, 1994). En su mayoría son amoniotélicos, lo cual implica que entre el 75 y el 90% del nitrógeno excretado es en forma de amonio, liberándose pasivamente por las branquias como producto final del catabolismo proteico y la desaminación de aminoácidos (Jobling, 1994). La urea es otra forma importante de excreción de nitrógeno y supone entre el 5 y 15% del nitrógeno total excretado.

El amoniaco es una base débil que asume dos especies químicas en equilibrio, representadas por la siguiente ecuación:



La forma no ionizada ( $\text{NH}_3$ ) es tóxica para los organismos y el equilibrio está en función del pH, la temperatura y la salinidad. Según se aumenta el pH y la temperatura se incrementa la concentración de la forma no ionizada, disminuyendo según se aumenta la salinidad.

El problema del amonio es su toxicidad a niveles relativamente bajos, ya que puede pasar fácilmente a la forma no iónica. Para Jobling (1994) se trata del metabolito más tóxico y el principal limitante de la biomasa y densidad de los cultivos intensivos. En peces, la tasa de excreción disminuye cuando se alcanzan determinados niveles en el agua, pudiendo tener efectos letales (lesión tisular, reducción del crecimiento, etc.). El crecimiento de los peces puede verse afectado por niveles de amoniaco de 0,1mg N-  $\text{NH}_3$  /litro. Niveles de amoniaco mayores puede afectar al crecimiento, la supervivencia, la conversión del alimento y la eficiencia en la utilización de las proteínas (Knights, 1985; en Martínez-López, 2002).

En los medios de cultivo la concentración de amonio no ionizado no debe exceder el



rango de 0,0125-0,025 mg N- NH<sub>3</sub> /litro (Jobling, 1994). Los valores tolerables de amonio, para evitar efectos tóxicos en cultivo de dorada, lubina y rodaballo, fueron establecidos por Person-Le Ruyet *et al.* (1995) en 2,3 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/litro en forma de amonio (0,1mg N- NH<sub>3</sub> /litro).

Como el amoniaco es el producto resultante del catabolismo de proteínas (Stryer, 1995), las tasas de excreción de amonio revelan el nivel de aprovechamiento de las proteínas provenientes de la dieta, de hecho Kaushik y Luquet (1991, en Martínez-López, 2002) encontraron una relación directa entre la ingesta de proteínas y la excreción de amonio.

Los aportes de N disuelto en las jaulas de cultivo vienen condicionados por dos factores fundamentalmente: la composición de aminoácidos de las dietas y la relación entre la proteína digerible y la energía digerible (DP/DE).

El catabolismo de las proteínas tiene como resultado final la eliminación del N no necesario en forma de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, por lo tanto la composición de aminoácidos en la dieta es un factor influyente en esos vertidos, ya que un exceso de los mismos, superior a los requerimientos provoca una mayor excreción de amonio y la pérdida de energía por su catabolismo (Jobling, 1994; Lloyd *et al.*, 1978; en Cho *et al.*, 2001).

Los peces carnívoros utilizan una parte importante de las proteínas que ingieren para obtener energía, a pesar de que estén presentes otras fuentes energéticas.

La relación entre la proteína digerible y la energía digerible (DP/DE) influye en la excreción de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Cho *et al.*, 2001). Datos aportados por Cho y Kaushik (1990) en salmónidos sugieren que una relación DP/DE de 18g Mj<sup>-1</sup> reduce de manera efectiva el catabolismo de los aminoácidos y por lo tanto la excreción de N sin afectar al crecimiento.

Por lo tanto una posible vía de reducir los aportes de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> de los cultivos en jaulas sería ajustando el perfil de aminoácidos de las dietas a las necesidades específicas de la



especie en cultivo e incluir en las dietas fuentes energéticas no proteicas en cantidades que no afecten a la tasa de crecimiento y la eficiencia de alimentación.

En el mar la concentración de fósforo tiene un rango variable, entre 0,02-0,6 mg/l (Almazov, 1967, en Lall, 1991). La máxima concentración suele darse en los periodos de verano ya que la regeneración de compuestos que derivan del fósforo se hace a un ritmo mayor que el del consumo por parte del fitoplancton.

Si los niveles de fósforo en el agua son elevados el crecimiento de fitoplancton puede ser excesivo, generando grave impacto. Por ello resulta importante conocer la absorción, el metabolismo y la excreción de este elemento.

Al igual que ocurre con el nitrógeno, los niveles de fósforo en el alimento y la digestibilidad del mismo influye en la cantidad que posteriormente se descargará al medio. La información respecto al metabolismo, excreción y utilización del fósforo de la dieta en peces es limitada. El contenido en fósforo en los peces es de aproximadamente 0,4-0,5% en peso fresco (Lall, 1991). Persson (1986, en Lall, 1991) encontró una relación positiva entre la talla de la trucha arcoiris y el contenido en fósforo, como consecuencia del contenido en materia seca, que es más evidente con el crecimiento del pez. La cantidad de fósforo absorbida del alimento depende del nivel de fósforo en la sangre, y la deposición de este en el esqueleto es baja, a pesar de que es el mayor reservorio de este mineral (Phillips, 1962). Los requerimientos de fósforo en teleósteos suele oscilar entre 2-8 g/kg (Lall 1991; Eya y Lovell, 1997; Roy y Lall, 2003).

Generalmente es excretado en forma soluble y particulada. Las formas solubles consisten en P orgánico y  $\text{PO}_4^{-3}$  los cuales están ya disponibles para ser utilizados por las plantas. Las formas sólidas suelen ser ortofosfato inorgánico que se deposita en el fondo y que



gradualmente por procesos anaerobios pasa a formas solubles.

### 1.4.1.2 Impactos en la columna de agua

Las publicaciones respecto a los efectos de la acuicultura en el fitoplancton son bastante limitadas, siendo en su mayoría para agua dulce (Persson, 1991) o de baja salinidad y en raras ocasiones se ha podido establecer la relación entre los nutrientes producidos por la acuicultura y dichas respuestas biológicas (Pitta *et al.*, 1999).

Los efectos que las formas disueltas tienen en el medio dependen de la velocidad a la que se diluyen antes de ser asimilados. Carbono, nitrógeno y fósforo son las principales formas de polución asociadas con la acuicultura (Hall, 1992, en Vita, 2004)

La liberación al medio de sólidos, nitrógeno y fósforo genera en las aguas que lo reciben y ecosistemas asociados a ellas problemas de eutrofización (Persson, 1991). El efecto de N es más acusado en el medio marino, ya que se trata de un factor limitante para las algas, sin embargo en el caso del Mediterráneo la producción primaria está limitada por la concentración de fósforo disponible (Krom *et al.*, 1991, en Vita, 2004).

Se ha asumido tradicionalmente que los vertidos de las jaulas generarían un crecimiento de fitoplancton, sobre todo de algas tóxicas, ya que hay un mayor acceso a nutrientes altamente biodisponibles, encontrándose en las zonas próximas a cultivos un patrón de nutrientes diferente al natural en la columna de agua (Pitta *et al.*, 1999).

Los efectos de la concentración de nutrientes en el fitoplancton son más evidentes en zonas con un régimen de mareas pequeño y en zonas de baja salinidad, en particular en bahías protegidas (Wallin-Hakanson, 1991; en Pitta *et al.*, 1999)

Las escasas referencias de incidencias de este tipo puede deberse a que los desechos vertidos no superan la capacidad de carga del sistema, siendo este capaz de absorber la perturbación (Pitta *et al.*, 1999), o a la buena dispersión de los mismos (Gowen, 1987). Sin



embargo la no detección de perturbaciones puede deberse al retardo que se da entre el enriquecimiento del medio y el pico de fitoplancton, pudiendo tardar entre 3 y 8 días en aparecer (Pitta, 1996; en Pitta *et al.*, 1999)

Se ha asumido que estos aportes son los responsables del crecimiento de algas tóxicas (HAB), sin haberse demostrado la relación entre los nutrientes producidos por la acuicultura y dichas respuestas biológicas (Vita, 2004).

En el caso de los cultivos en el Mediterráneo es habitual su ubicación en zonas abiertas, en las que una mayor actividad del oleaje permite una rápida dispersión de estos aportes, y por lo tanto no se detectan impactos a este nivel.

### 1.4.1.3 Impactos en el sedimento

La deposición de materia particulada procedente de las jaulas es la principal causa del impacto ambiental negativo en la acuicultura (Gowen *et al.*, 1991).

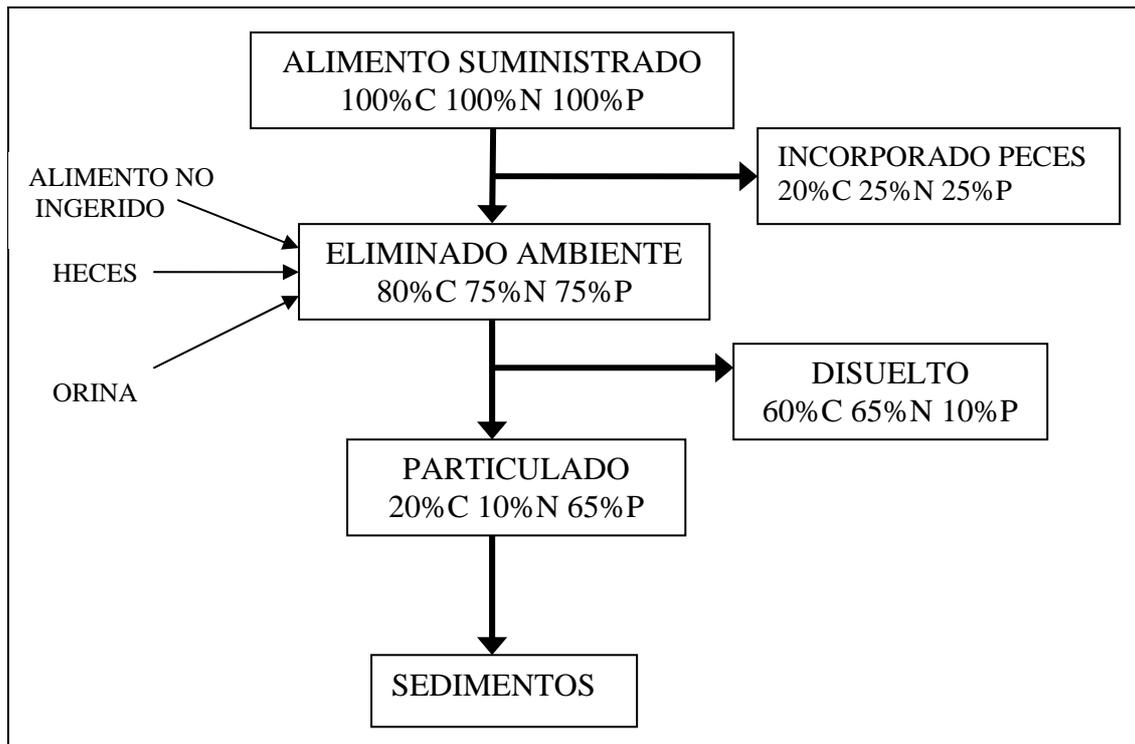
Estos restos son más fácilmente degradables que los sedimentos costeros naturales, lo cual tiene importantes consecuencias biogeoquímicas al incentivar la actividad microbiana (Vita, 2004). Kristensen *et al.* (2000, en Vita, 2004) hallaron que el metabolismo bajo las jaulas flotantes era 10 veces superior que en una estación local de referencia.

Los restos sólidos que se depositan bajo las granjas generan un gran impacto, puesto que toda esa materia orgánica puede provocar una reducción del oxígeno disuelto y condiciones de anoxia que dañan la biota del bentos. El impacto de las jaulas en el bentos en el Mediterráneo puede variar considerablemente dependiendo de las características específicas de su ubicación. Karakassis *et al.* (2001) encontraron que los valores de potencial redox del sedimento ubicado debajo de jaulas de dorada y lubina eran bajos, pero sólo alcanzaban valores negativos cuando se trataba de fango. Además los efectos en la macrofauna se notaban a una distancia de 25 metros alrededor de las jaulas.



Respecto a los productos que se incorporan al sedimento a consecuencia del cultivo del pulpo común, no existe información, ya que se trata de un cultivo recientemente introducido en el Mediterráneo.

**Figura 1: Flujo de los principales nutrientes en un cultivo en jaulas flotantes (adaptado de Bergheim et al., 1991)**



#### 1.4.2 Estimación de los residuos

El control y cuantificación de los efluentes de la acuicultura es un proceso costoso y en ocasiones impreciso (Cho *et al*, 1991)

En muchas ocasiones las estimaciones de los vertidos se han realizado a partir de la medición de los niveles de ciertos componentes en los efluentes de las instalaciones, lo que se conoce como método químico o limnológico (Cho *et al*, 1991). Lo habitual en este método es la recogida de muestras en diferentes situaciones del cultivo. El problema de este método es que las concentraciones de los productos de desecho pueden variar en función del volumen de



agua empleado. Además la homogeneidad de las muestras no está asegurada por lo tanto obtener muestras precisas, representativas y reproducibles resulta difícil.

Se ha desarrollado un método biológico de predicción de aportes procedentes de acuicultura como una alternativa simple y económica al método de estimación limnológico. Este método (BMPAWO) emplea un simple balance de nutrientes para estimar los desechos vertidos (Cho *et al.*1991), basándose en cálculos de coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) del alimento, en partículas nitrógeno y fósforo y en la eficiencia de retención de los nutrientes (ERN). La primera medida aporta información respecto a los desechos sólidos y a los nutrientes no digeridos que son excretados por las heces, mientras que la eficiencia de retención realiza estimas sobre los desechos solubles excretados por las agallas y las branquias.

Las proteínas, lípidos y carbohidratos digeridos son la energía potencial y los nutrientes para el mantenimiento, la reproducción y el crecimiento del animal. El resto de alimento no digerido es excretado en forma de desechos sólidos (DS) mientras que otros productos de su metabolismo (amonio, urea, fosfatos, etc.) son excretados en forma disuelta (DD).

Los desechos totales de la acuicultura (DT) están constituidos por los sólidos (DS) y los disueltos (DD) junto con las pérdidas aparentes de alimento (PAA). Realizar una estimación precisa de PAA es bastante difícil y casi imposible, la mejor estimación puede obtenerse por comparación con los requerimientos teóricos de alimento, calculados con una aproximación en la que la eficiencia del alimento esperado indica el grado de PAA para una operación dada (Cho y Bureau, 1998).

La descarga de desechos sólidos totales (DST) se estima por:

$$\text{DST} = (\text{alimento consumido} \times (1-\text{CDA})) + \text{PAA}$$



Mientras que los desechos disueltos totales (DDT) se estiman por:

$$\text{DDT} = (\text{alimento consumido} \times \text{CDA}) - \text{retenido}$$

donde CDA (coeficiente de digestibilidad aparente) se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{CDA} (\%) = 100 - [100 \times (\%M_{\text{dieta}} / \%M_{\text{heces}}) \times (\%N_{\text{heces}} / \%N_{\text{dieta}})]$$

donde M es el marcador inerte y N el nutriente (Maynard *et al.*, 1969).

De manera similar se puede calcular los vertidos de nitrógeno y fósforo midiendo el contenido, el CDA y el ERN de estos nutrientes en el alimento, las heces y en el animal. De esta manera se puede obtener un modelo a partir del cual realizar predicciones de los desechos esperables de una instalación, siendo este un modelo basado en la composición del alimento, el alimento consumido, la producción de biomasa y los efluentes de agua derivados de ese cultivo (Cho *et al.*, 1991).

De las especies más explotadas ya se han desarrollado modelos predictivos de producción de desechos.

Las estimas realizadas por Videau y Mercaron (1992, en Jambrina, 1996) para el balance de N en salmónidos muestran pérdidas que varían entre 68,2-104 kg/Tm producida /año. Del total de N aportado un 25% queda retenido en el pez, entre 30-70% es excretado en forma de efluentes metabólicos y entre 5-30% se encuentra en forma particulada. Para el P realizan una asimilación de 13-32% del total administrado, liberando al medio entre 9,1-110 kg /Tm producida /año, de los cuales entre 11-30% es soluble y 49-70% particulado.

En el caso de la dorada la retención de N y P es de 22 y 29% respectivamente, liberando el 78% de N (68% disuelto y 10% particulado) y el 71% de P (27% disuelto y 44% particulado)



(Lupatsch y Kissil, 1998). El total de sólidos que generaría la producción de 1 tonelada de 400g de talla sería de 447,5 kg, de los cuales 13,2 kg sería nitrógeno y 11 kg fósforo.

**TABLA VI: Estimaciones de desechos de N y P para distintas especies.**

Especie	Retenido (%)		Particulado (%)		Disuelto (%)		Referencia
	N	P	N	P	N	P	
Trucha (en agua dulce)	25	23	13	66	62	11	Ackefors & Sodergren (1985, en Munday, 1993)
Trucha (en mar)	28	18	16	54	56	18	Ackefors & Enell (1990, en Brooks, 2002)
Atún ( <i>Thunnus thynnus</i> )			6,17	55,85	89,31	40,13	Aguado & García (2003)
Dorada ( <i>Sparus aurata</i> )	20,6	29,8	14,8	47,2	64,6	22,9	Molina <i>et al.</i> , 1997
	22	29	10	44	68	27	Lupatsch & Kissil (1998)
Lubina ( <i>Dicentrarchus labrax</i> )			12	42	61	27	Lemarié <i>et al.</i> (1998)
	19,3	32,8	19,8	47,6	60,9	19,56	Molina Domínguez, 2000

Los cefalópodos son también amoniotélicos, excretando las dos terceras partes del nitrógeno de esta forma y el resto en forma de urea (Boucher-Rodoni y Mangold, 1994). Potts (1967) encontró en el caso de *Octopus dofleini* que el 73% del nitrógeno excretado en la orina era en forma de amonio, mientras que para *Sepia officinalis* era del 65-70%. El problema con su mantenimiento en cautividad y con su producción deriva de esta actividad ya que producen entre 2 y 3 veces más amonio que los teleosteos.

Segawa en 1988 encontró que para varias especies de cefalópodos (*Octopus maya*, *Loligo forbesi* y *Lolliguncula brevis*) la tasa de excreción de amonio (TEA) aumentaba linealmente conforme se incrementaba el peso de los individuos. Esto coincide con los resultados obtenidos por Boucher-Rodoni y Mangold (1985) para *O. vulgaris*, siendo la excreción de 0,008814 N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>mg /g BW/h (600g BW) y 0,00687 N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>mg /g BW/h (492 g BW), a 15-16°C.



García García *et al.* (2005,c) establecieron una relación directa entre la TEA, el peso corporal y la tasa de ingesta de proteínas (TIP) para el pulpo común,  $\ln TEA = -5,382 + 0,90 \ln P + 0,577 \ln(TIP + 1)$ . En esta relación para un mismo TIP conforme aumenta el peso corporal se incrementa la TEA, mientras que a igual peso si hay un mayor TIP la TEA aumenta. A partir de la relación O/N que calcularon se observa que en ayuno el pulpo utiliza los lípidos como fuente de energía y que según aumenta la ingesta se incrementa el uso de la proteína y si esta no es limitante usan prácticamente sólo la proteína. En su caso la relación O/N muestra una dependencia del peso, haciendo un menor uso de los lípidos conforme aumenta este.

Este último resultado no coincide con lo obtenido por Katsanevakis *et al.* (2005), ya que en la relación O/N obtenida para *O.vulgaris* no encuentran relación de esta con el peso o la temperatura. En su caso la excreción de amonio sigue la ecuación siguiente:

$$TEA (\mu\text{mol h}^{-1}) = e^{14,77 - 4324,7 / T_a} \times P^{0,896} \text{ para temperaturas entre } 15,5^{\circ}\text{C y } 26^{\circ}\text{C}.$$

Hay ya algunos datos sobre la tasa de excreción de esta especie los cuales permiten realizar estimaciones sobre la cantidad de amoniaco que se liberaría a la columna de agua. Cerezo *et al.* (2003) realizaron medidas de amonio empleando un electrodo de ion selectivo en ejemplares de *O.vulgaris* mantenidos en acuarios sin renovación de agua. Obtuvieron una producción media de amoniaco por individuo entre 3,15-11,58 mg/h, siendo los valores en función del peso corporal de 8,56-40,71 mg/kg/h.

Esto indica que respecto a otras especies, la excreción de amonio en el pulpo común tiene bastante importancia ya que al tratarse de un metabolito peligroso con efectos letales en los sistemas de cultivo es importante establecer los niveles de concentración que no resultan limitantes. El punto crítico para el pulpo común fue establecido de manera preliminar por Gómez *et al.* (2005) empleando un electrodo de ión selectivo en individuos mantenidos en acuarios sin renovación de agua. El punto crítico se estimó entre 1,1 y 1,4 mg/l; valor a partir



del cual el pulpo modifica su tasa de excreción.

Actualmente existen muy pocos datos sobre los residuos que generan este tipo de cefalópodos. Existe muy poca información sobre la utilización nutritiva del alimento, el crecimiento en cautividad y la generación de residuos para esta especie. Estos aspectos son clave para cuantificar el posible impacto ambiental ocasionado por esta actividad.

**Tabla VII: Valores de excreción de amoníaco para diferentes especies**

<b>Especie</b>	<b>Excreción amoníaco (mg/Kg/h)</b>	<b>Referencia</b>
<i>Sparus aurata</i>	17	Cerezo <i>et al.</i> ,2003
<i>Dicentrarchus labrax</i>	22	Cerezo <i>et al.</i> ,2003
<i>Octopus ocellatus</i>	5-20 (20°C)	Segawa y Nomoto,2002
	3-31 (25°C)	
<i>Octopus vulgaris</i>	8,814 (600gBW)	Boucher-Rodoni y Mangold, 1985
	6,87 (492gBW)	
<i>Octopus vulgaris</i>	8,56-40,71	Cerezo <i>et al.</i> ,2003

En el caso del fósforo, no se han realizado estimas de los residuos derivados del metabolismo de esta especie. Al tratarse de un elemento con una posible repercusión ambiental por motivos de eutrofización es interesante realizar un balance de los aportes que hace al medio esta especie a través de las heces y por excreción.



## 2. Justificación y objetivos

El presente trabajo forma parte del proyecto INIA RTA04-118: “Engorde intensivo de pulpo de roca (*Octopus vulgaris*) en instalaciones de jaulas flotantes en mar abierto en el Mediterráneo”.

La explotación sostenible que se espera de cualquier tipo de instalación acuícola supone por un lado conocer cual va a ser el origen del posible impacto y por otro lado como reducir el mismo.

En el caso del cultivo de *Octopus vulgaris*, al tratarse de un sistema nuevo de cultivo y de una especie nueva, no existe información respecto a cuáles serán los vertidos generados por las instalaciones y por lo tanto la magnitud de su impacto. Existen ya algunos datos de excreción de esta especie (Cerezo *et al.*, 2003; García García *et al.*, 2005) que permiten hacer estimaciones del amoníaco que producirían estas explotaciones y que se incorporaría a la columna de agua. Sin embargo no existe información que evalúe los productos que se incorporan en el sedimento, es decir de la producción de heces y su composición en N y P, así como del alimento no ingerido, que en los sistemas de engorde en mar abierto son más indicativos del impacto ambiental de la explotación (Aguado, 2001).

La preocupación que ha despertado el impacto potencial de este cultivo en la Administración de la Región de Murcia, debido al desarrollo de esta nueva actividad en el Mediterráneo y más concretamente en aguas del litoral murciano, ha impulsado este trabajo.

El objetivo de este trabajo es, usando el método descrito por Cho *et al.* (1991) que se basa en los coeficientes de digestibilidad, evaluar los vertidos que generaría una instalación de engorde de pulpo.

Para la realización de este balance se calcularán los coeficientes de digestibilidad aparente del nitrógeno y fósforo y se analizará la composición en términos de nitrógeno y



fósforo de los pulpos empleados y la variación de la biomasa desde el inicio hasta el final del periodo experimental. Estos datos en combinación con el contenido de nitrógeno y fósforo del alimento empleado así como de la fracción no comestible, permitirán calcular la eficiencia de retención y la cantidad vertida al medio de estos dos elementos.

Esta estimación será útil para poder predecir futuros vertidos en instalaciones de engorde de pulpo común e introducir mejoras en su manejo para reducirlos.

Trabajos previos realizados con esta especie (Sewaga, 1988; García García *et al.*, 2005) han mostrado la influencia del peso en la tasa de excreción de amonio, de forma que a mayor peso se produce un aumento de la TEA. Los coeficientes de digestibilidad obtenidos en este trabajo se han empleado en la elaboración de un modelo de producción de N y P para cada uno de los pesos y tipo de alimento empleado, y teniendo en cuenta además la fracción no comestible de los mismos.



### 3. Material y métodos

#### 3.1 Origen y mantenimiento de los ejemplares

Los ejemplares de pulpo fueron capturados en los meses de febrero y marzo de 2005 en las costas del Mediterráneo, próximas al Puerto de San Pedro del Pinatar (Murcia), por barcos pesqueros usando redes de arrastre de fondo. A bordo de la embarcación se utilizaron recipientes de 100 l en los que se iban ubicando los individuos capturados, realizando una renovación total del agua cada media hora. Se seleccionaron animales con tallas comprendidas entre 500 g y 3 Kg.

Debido a la proximidad del puerto de San Pedro del Pinatar a las instalaciones experimentales no fue necesario emplear ningún tipo de aireación adicional para su traslado desde la embarcación, ya que en poco tiempo llegaron a su destino.

Una vez recibidos en las instalaciones, todos los pulpos se dispusieron juntos en un tanque tipo raceway de 4 m<sup>3</sup> en el que se acomodaron tubos de PVC para que los pulpos los usaran de guaridas. Este tanque operaba en circuito abierto, con agua tomada directamente del mar que era almacenada en un sistema de balsas anexo a las instalaciones.

Los pulpos se aclimataron al menos 15 días en este tanque y se alimentaron diariamente a saciedad con boga (*Boops boops*) y cangrejo (*Carcinus mediterraneus*). En este periodo se controló niveles de oxígeno disuelto y la temperatura, para evitar mortalidades.

Transcurrido ese tiempo los ejemplares, totalmente adaptados a las nuevas condiciones, pudieron ser trasladados a los tanques experimentales.

#### 3.2 Instalaciones experimentales.

Los ejemplares fueron colocados en tanques individuales ya que permite la recogida de heces de manera individualizada, una mejor estimación del crecimiento y alimentación, evitando al mismo tiempo el canibalismo.



Los experimentos se realizaron en dos baterías de tanques independientes el uno del otro y que operaban con un sistema de recirculación de agua y control de la temperatura.

El circuito cerrado A (CCA) estaba constituido por 16 tanques cilíndricos de 400 l (Figura 2). En todos los tanques la entrada de agua se dispuso en la parte superior y la salida en la parte inferior del mismo. El agua de salida era reunida en una canaleta principal que por mediación de una bomba de recirculación era impulsada a través de un filtro de arena. Este tiene como finalidad la de eliminar los sólidos (heces y restos de comida), al hacer pasar el agua por una superficie con distinta granulometría que irá reteniendo las distintas partículas. Este suele ser el primer tratamiento que se le da al agua ya que así los sistemas de filtración biológica serán más eficaces. A continuación el agua pasaba por un Skimmer para eliminar espumas y era almacenada en el tanque de expansión (responsable de mantener el nivel de agua en el circuito) (Figura 4).

El agua que llegaba a los tanques se hacía pasar por un biofiltro individual, instalado en cada uno de los tanques. Este está constituido por material plástico que facilita el soporte al film bacteriano (*Nitrosomonas* sp y *Nitrobacter* sp) que se encargan de eliminar del agua, por reducción, los complejos de amoníaco provenientes de las excreciones de los animales en cultivo y de la descomposición del alimento no ingerido. El sistema estaba dotado de una bomba de calor con el fin de mantener la temperatura dentro del rango óptimo para esta especie (18-20°C). El caudal de agua a través de los tanques se ajustaba de forma que la saturación de oxígeno nunca fuera menor de 80%. Los tanques disponían además de dos puntos de aireación mediante un air-lift.

El circuito cerrado B (CCB) estaba constituido por 16 tanques cilíndricos de 200 l (Figura 3). Su sistema de recirculación era similar al del CCA incorporando un tanque de percolación que actuaba como filtro biológico y de allí era enviada a cada uno de los tanques.



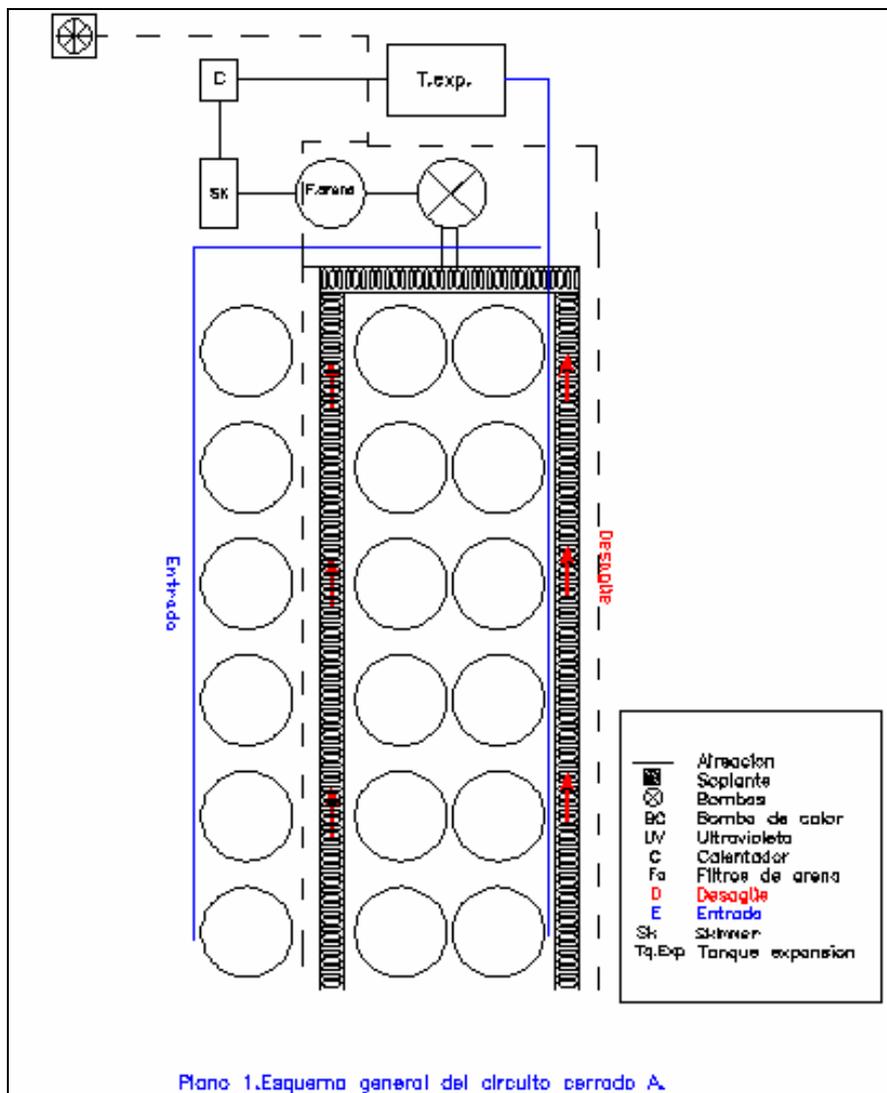


Figura 2: Plano1 de las instalaciones.



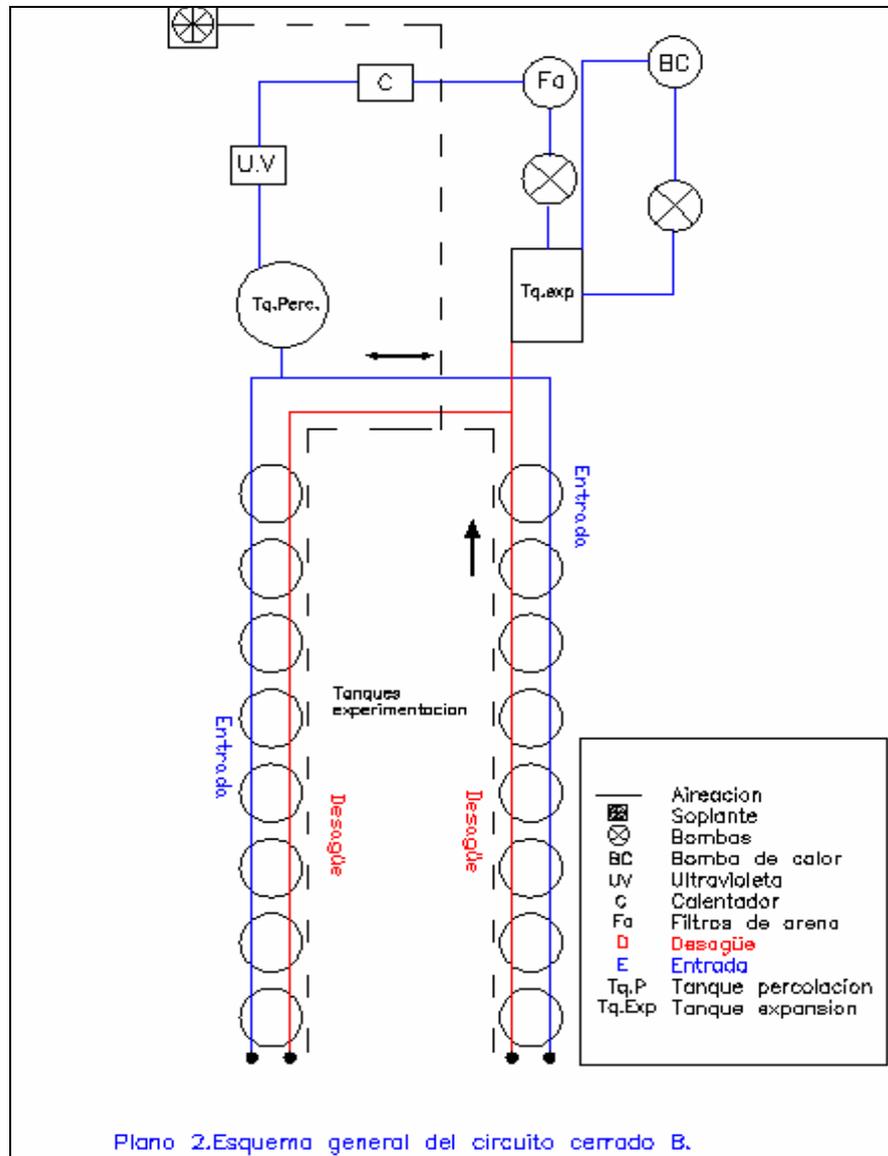


Figura 3: Plano2 de las instalaciones.





**Figura 4. Imagen de los tanques de 400l circuito A.**



**Figura 5. Imagen de los tanques de 200 l del circuito B con el tanque de percolación al fondo.**





**Figura 6. Imagen del tanque de expansión, filtro de arena y skimmer del circuito A.**



**Figura 7. Imagen del tanque de expansión, filtro de arena y bomba de calor del circuito B.**



### 3.3 Diseño experimental

#### 3.3.1 Lotes experimentales

Los pulpos se organizaron en tres lotes experimentales en función de su peso, diferenciando tres grupos con un tamaño 700 g (pequeños: P) ,1700 g (medianos: M) y 2500 g (grandes: G) aproximadamente.

**Tabla VIII. Diseño experimental**

<b>Experimento 1 Circuito cerrado A</b>				
<b>Periodo</b>	<b>Nº ejemplares</b>	<b>Alimento</b>	<b>Peso medio inicial</b>	<b>Temperatura</b>
04/04/05-16/04/05	7	Cangrejo	1712,00	19,56±0,26
	7	Boga	1779,57	
<b>Experimento 2 Circuito cerrado B</b>				
<b>Periodo</b>	<b>Nº ejemplares</b>	<b>Alimento</b>	<b>Peso medio inicial</b>	<b>Temperatura</b>
09/05/05-13/06/05	8	Cangrejo	770,13	19,23±0,83
	8	Boga	739,57	
<b>Experimento 3 Circuito cerrado B</b>				
<b>Periodo</b>	<b>Nº ejemplares</b>	<b>Alimento</b>	<b>Peso medio inicial</b>	<b>Temperatura</b>
20/06/05-18/07/05	8	Cangrejo	2562,33	19,35±0,63
	8	Boga	2615,25	

Cada uno de los tanques contenía un tubo de PVC de 20cm de diámetro que servía de guarida. Se elaboraron redes con las que cerrar los tanques para evitar la fuga de ejemplares. Con la misma finalidad el borde interior superior de cada tanque era cubierto con estropajo, ya que a los pulpos ese tacto no les agrada.

Al encontrarse en el interior de un recinto cerrado se pudo controlar la temperatura ambiental para mantener la temperatura del agua dentro del rango óptimo. El fotoperíodo fue el natural (37° 50'N, 0° 46'W).



#### 3.3.2 Calidad del agua.

Con el fin de mantener los parámetros del agua ajustados a los requerimientos de esta especie se llevó a cabo un control diario de la temperatura y el oxígeno. Para ello se realizaron dos medidas diarias (9:00 y 14:00) en cada tanque empleando un oxímetro de la marca ORION modelo 835.

La temperatura fue controlada mediante una bomba de calor (que realiza la función de calentar y enfriar el agua) y alcanzó una media de  $19,56 \pm 0,26^\circ\text{C}$  para el CCA durante el periodo experimental 1,  $19,23 \pm 0,26^\circ\text{C}$  para el CCB en el periodo experimental 2 y  $19,35 \pm 0,63^\circ\text{C}$  para este mismo circuito durante el periodo 3.

Los valores de nitritos, nitratos y amonio se midieron dos veces por semana en el tanque de expansión del sistema de recirculación y en uno de los tanques de cultivo aleatoriamente. Las medidas se realizaron empleando kits colorimétricos (Prodac Test). El mismo proceso se realizó con el pH, empleando un modelo ORION 250 A+. Los valores de estos parámetros estuvieron siempre dentro del rango establecido para esta especie.

La salinidad del agua se controló también dos veces por semana, por medio de un refractómetro marca ATAGO variando entre 38 y 39‰.

#### 3.3.3 Alimentación

Cada lote experimental se subdividió en dos grupos, uno alimentado con cangrejo (*Carcinus mediterraneus*) y otro con boga (*Boops boops*). La alimentación se aportó a saciedad, en una toma diaria por la mañana, ajustando cada día la comida en función de la ingesta realizada el día anterior. Al alimento se le analizó su composición en macronutrientes siguiendo las técnicas que se describen más adelante.



**Tabla IX: Composición del alimento administrado a los ejemplares en experimentación (porcentaje en sustancia seca)**

	<b>Boga P</b>	<b>Boga G</b>	<b>Cangrejo</b>
<b>Sustancia seca</b>	22,46±0,11	20,71±0,20	22,01±0,38
<b>Proteína</b>	91,92±0,38	90,02±0,96	59,20±1,30
<b>Grasa</b>	5,04±0,28	3,50±0,16	9,66±0,41
<b>Cenizas</b>	6,68±0,27	6,52±0,17	13,23±0,21
<b>CIA</b>	0,04±0,001	0,03±0,01	0,05±0,01
<b>P</b>	1,07±0,43	1,32±0,03	1,04±0,02
<b>N</b>	14,71±0,03	14,40±0,03	9,47±0,03
<b>E (MJ/Kg)</b>	21,25	21,76	20,88

Los valores son expresados como la media  $\pm$  desviación estándar de tres réplicas.

Boga P: boga de menor tamaño con la que se alimentaron los grupos experimental 2 y 3.

Boga G: boga con la que se alimentó el grupo experimental 1.

CIA: cenizas insolubles en ácido.

El alimento ingerido se estimó a partir del alimento sobrante. Al día siguiente de la toma, a primera hora de la mañana, el alimento sobrante era retirado del tanque. El alimento ingerido se calculó como la diferencia entre la comida proporcionada y la sobrante.

La boga no ingerida era secada con papel absorbente antes de ser pesada. Sólo los restos de cangrejo que contenían carne en su interior eran pesados y considerados como alimento sobrante.

La boga que se suministró durante el experimento 1 (grupo M) fue distinta a la que comieron los del experimento 2 (grupo P) y los del experimento 3 (grupo G). La principal diferencia entre estos dos lotes de boga que se empleó fue su tamaño, ya que la del grupo experimental 1 (boga G) era más grande que la del 2 y 3 (boga P), en cuanto a composición (Tabla IX) solamente se observa una diferencia importante en el contenido de grasa (5,04% para la boga P y 3,5% para la boga G).

Tanto la boga como el cangrejo procedían del medio natural, siendo almacenados en una cámara congeladora. La boga se les suministraba sin cabeza ni cola, ya que son partes que normalmente no consumen. Al cangrejo, con el fin de facilitar las labores de limpieza



posteriores de los tanques, se le eliminaban las patas. Para atemperar el alimento, se sacaban de la cámara a primera hora de la mañana y se les suministraba a última hora de la mañana de tal forma que estuviera descongelado.

#### 3.3.4 Recogida y preparación de las muestras de heces

Las heces de los pulpos presentan diferencias a la hora de su recolección con las de los peces. Sus heces normalmente quedan en el fondo, a media agua y flotando en la superficie del tanque. La manera más eficaz de recolectarlas era por medio de un sifón. Diariamente las heces de cada pulpo eran retiradas y guardadas en el congelador para su conservación.

Las heces eran liofilizadas con el fin de eliminar toda el agua. La liofilización se realizó en un liofilizador Heto Power-Dry LL3000 durante un periodo de 24 horas aproximadamente.

Tras el liofilizado las heces se pasaron por un tamiz para retirar los restos de escamas y caparazones que a veces incorporaban.

### 3.4 Preparación de las muestras

#### 3.4.1 Pulpo

Una vez sacrificados, los ejemplares eran troceados y congelados durante 24 horas en una cámara congeladora. Transcurrido ese tiempo se trituraron con un robot hasta conseguir una mezcla homogénea. Esta mezcla fue almacenada en placas Petri a  $-80^{\circ}\text{C}$  hasta su análisis.

#### 3.4.2 Alimento

La boga se preparó cortándole la cabeza y la cola, se le extrajeron los filetes y se le retiró la piel y las espinas. La carne fue triturada y dispuesta en placas Petri. En el caso del cangrejo se extrajo la carne y se retiraron las branquias, ya que se observó que no eran



ingeridas por los pulpos. Esta carne se dispuso en placas Petri.

El alimento se liofilizó durante 24 horas en un liofilizador Heto Power-Dry LL3000. Tras la liofilización se pasó por un tamiz para retirar las escamas y fragmentos de caparazón. Las muestras eran almacenadas en refrigeradores.

### 3.4.3 Fracción no comestible

Al realizar una evaluación de los aportes que generará una jaula de pulpo, es importante también considerar los restos de alimento que serán liberados al medio. Por este motivo se ha calculado el contenido de nitrógeno y fósforo de los caparazones del cangrejo, de las cabezas y espinas de la boga, en función del porcentaje que representa cada fracción. En cuanto a la boga se pesaron 6 ejemplares enteros y después se les eliminó el filete para pesar la espina, la cabeza y la cola por separado. El porcentaje de cada una de estas partes se calculó sobre el total.

En el cangrejo se consideró que la fracción no comestible constituía el 50% (García García y Cerezo, 2005)

**Tabla X: Porcentaje que representa la fracción no comestible del cangrejo y la boga**

<b>Cangrejo</b>	<b>Boga</b>
Caparazón = 50%	Espina = $3,7 \pm 0,37$
Carne = 50%	Cabeza y cola = $19,5 \pm 0,25$

Se realizó un análisis del contenido de N y P en la carne del cangrejo y de la boga, y de ejemplares enteros de cangrejo y boga. Considerando el porcentaje que representa cada fracción y los resultados obtenidos de esos análisis se pudo calcular el contenido en N y P del



caparazón, la espina, la cabeza y cola.

**Tabla XI: Contenido de nitrógeno y fósforo de la fracción no comestible calculado en función del porcentaje que representa cada fracción (porcentaje en sustancia seca)**

	Boga		Cangrejo (Caparazón)
	Espina	Cabeza	
<b>N</b>	3,10	24,62	8,00
<b>P</b>	3,62	5,28	2,72

### 3.5 Análisis de macronutrientes

A los ejemplares de pulpo, alimento (fracción comestible) y heces se le determinó el contenido de humedad, minerales totales, proteínas y grasas. También se analizó el contenido en proteínas a ejemplares enteros de boga y cangrejo.

#### 3.5.1 Determinación de la humedad.

Se calculó a partir de la diferencia de peso observada entre la muestra fresca y la misma muestra sometida a desecación en una estufa marca Heraeus durante 24 horas a 105°C.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(\text{peso fresco} - \text{peso seco})}{\text{peso muestra}} \times 100$$

#### 3.5.2 Determinación de minerales totales.

Se determinaron a partir de la incineración de las muestras en un horno Mufla Heraeus a 550°C durante 24 horas, empleando para ellos crisoles de porcelana.

$$\% \text{ Minerales Totales} = \frac{((\text{peso crisol} + \text{cenizas}) - \text{peso crisol})}{\text{peso muestra}} \times 100$$



### 3.5.3 Determinación de proteínas

El contenido en proteínas de la muestra se cuantificó por el método Kjeldahl. Para ello se realizó primero una digestión basada en la hidrólisis ácida de las proteínas empleando  $H_2SO_4$  y como catalizador Kjeltabs Cu/3,5. El digester empleado fue el modelo 2006 de Foss Tecator.

La destilación se realizó en una unidad de destilación 1002 de Foss Tecator empleando la solución Buchi como receptor de los iones  $NH_4$ . La valoración se realizó con HCl 0,5N y ese volumen empleado se utilizó para la determinación del porcentaje de nitrógeno. Para la transformación en proteína se utilizó el factor 6,25.

$$\text{Pr oteína (\%)} = \frac{mlHCl \times N HCl \times 14}{1000} \times \frac{100}{g \text{ muestra}} \times 6,25$$

donde 14 es el peso molecular del HCl

### 3.5.4 Determinación de la grasa.

Se determinó mediante la extracción con éter etílico en un extractor Soxtec System HT6 acompañado por un enfriador Frigiterm Selecta.

La muestra fue homogenizada previamente con  $SO_4Na_2$  anhidro para retirar el exceso de humedad.

$$\%Grasa = \frac{(\text{peso crisol con grasa} - \text{peso crisol vacio})}{\text{peso muestra}} \times 100$$

### 3.6 Determinación de fósforo.

Los análisis de fósforo se hicieron en los pulpos, heces, la fracción comestible del alimento y en ejemplares enteros de boga y cangrejo.



Se empleó el método vanadio-molibdato 995.11, AOAC 1996, basado en la medición de colorimetría. Para lo cual se incineraron las muestras a 600°C y las cenizas obtenidas se disolvieron en HCl (70%) y se llevaron a ebullición 5 minutos. Se filtró y se llevó a un volumen de 100ml. A partir de este volumen y en función del contenido en fósforo se tomó una alícuota que se diluyó en agua hasta un volumen de 5 ml. Se le adicionó 5 ml de la solución vanadio-molibdato y se leyó la absorbancia con un espectrofotómetro UV/VIS Lambda 25 de la marca Perkin Elmer.

### 3.7 Determinación de las cenizas insolubles en ácido

Las cenizas insolubles en ácido se analizaron en las heces y la fracción comestible del alimento.

Se empleó el método Atkinson (1984). Para ello la muestra era incinerada hasta eliminar toda su materia orgánica y llevada a ebullición con HCl 2N. Dicha disolución era filtrada a través de filtros Whatman libre de cenizas que eran incinerados en horno mufla a 600°C. Las cenizas se determinaban por diferencias de peso.

$$\% AIA = \frac{(\text{peso filtro incinerado} - \text{peso crisol})}{\text{peso muestra}} \times 100$$

### 3.8 Cálculos de los coeficientes de digestibilidad aparente

Los coeficientes de digestibilidad aparente fueron calculados mediante la ecuación estándar (Maynard *et al.*, 1969):

$$CDA (\%) = 100 - \left( 100 \times \frac{\% M_{dieta}}{\% M_{heces}} \right) \times \left( \frac{\% N_{heces}}{\% N_{dieta}} \right)$$



donde M es el marcador inerte (cenizas insolubles en ácido) y N es el nutriente.

### 3.9 Establecimiento de un modelo bioenergético

Puesto que una de las principales fuentes de contaminación de la producción acuícola son los aportes de nitrógeno y fósforo de origen metabólico y de los restos de alimento no consumido, mediante un modelo bioenergético es posible evaluar la retención y la descarga, de estos dos elementos, que provocaría una instalación de engorde de pulpo en el medio. Este modelo ha sido aplicado para realizar estimaciones de los residuos generados por los cultivos de lubina (*Lemarié et al.*, 1998), dorada (Lupatsch y Kissil, 1998) y rodaballo (Mallekh *et al.*, 1999). El modelo bioenergético se basará en el balance nutricional propuesto por Cho (1991) que requiere conocer:

- El contenido de N y P del pulpo
- La variación de la biomasa entre el inicio y el final del estudio
- Contenido de N y P del alimento empleado
- Contenido de N y P en las heces

De tal forma que conociendo el contenido corporal en el pulpo de estos elementos, el contenido en el alimento que se le proporciona y la variación de la biomasa a lo largo del cultivo se podrán evaluar la eficiencia de retención y la cantidad que pasaría a formar parte del sedimento o la columna de agua, con la siguiente ecuación:

$$C = G + E + F$$

donde C es el % en materia seca de N o P en el alimento ingerido, G la cantidad de



nutriente retenida para crecimiento, E representa las pérdidas por excreción y F las pérdidas a través de las heces.

La estimación del alimento ingerido se realizó teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

$$\text{Alimento} = \Delta B \times IC$$

donde  $\Delta B$  es el incremento de la biomasa y se requiere el índice de conversión.

Los índices obtenidos para jaulas de engorde de pulpo oscilan entre 5-11 (García García y Cerezo, 2005), mucho más altos que los que se suelen obtener en el engorde en tanque ya que son calculados sin considerar el alimento no ingerido, al ser difícil de evaluar en mar abierto. Por tanto los índices de conversión empleados son los obtenidos por García García y Cerezo, 2005. Para la boga, obtuvieron un IC de 2,46, empleando boga sin cabeza ni cola y en el caso del cangrejo, consideraron sólo la fracción comestible, IC de 3,26.

El cálculo del alimento ingerido en la boga ha requerido analizar la fracción que representa la espina, la cabeza y la cola respecto a la totalidad del pez (Tabla XVII), puesto que, como ya ha sido mencionado, son partes que no ingieren. Considerando que la espina representa un 3,7%, se calculó la cantidad de músculo que ingieren y considerando que cabeza y cola representan el 19,5%, la cantidad de alimento que se le suministraría.

En el caso del cangrejo para calcular la cantidad de alimento suministrado se consideró que los caparazones representan el 50%.

El incremento de biomasa ( $\Delta B$ ) que se ha considerado para un ciclo de engorde sería partiendo de ejemplares de 0,75Kg hasta alcanzar un peso comercial de 3,5Kg.

La cantidad retenida se calculó teniendo en cuenta el contenido de N y P (en sustancia seca) en los ejemplares de pulpo y el incremento de la biomasa:

$$\text{Crecimiento} = \frac{\% N \text{ o } P(SS) \times \Delta B}{100}$$



La cantidad eliminada por las heces se calculo a partir del retenido y los CDA:

$$Heces = \frac{\% N o P \text{ retenido} \times (100 - CDA(N o P))}{100}$$

La excreción se calculó por diferencia:

$$\text{Excreción} = \%SS \text{ (No P) Alimento} - (\% \text{Crecimiento} + \% \text{Heces})$$

### 3.10 Análisis Estadístico

Los valores medios de los macronutrientes, contenido en fósforo y nitrógeno, de los pulpos, las heces y el alimento, así como los coeficientes de digestibilidad calculados, fueron sometidos a análisis de varianza de una vía (ANOVA), siendo las diferencias entre medias encontradas analizadas por el test de Tukey con un intervalo de confianza del 95% ( $p < 0,05$ ).

Para evaluar la posible influencia del peso y el tipo de alimento en los coeficientes de digestibilidad se planteó el siguiente modelo:

$$CD = a + bA + cP$$

donde A es el tipo de alimento ingerido y P el peso de cada uno de los grupos.

La validación de este modelo se realizó por medio de un análisis de regresión múltiple de los coeficientes de digestibilidad calculados.

Se empleó para ello el programa STATISTICA v.6.



## 4. Resultados

### 4.1 Análisis de macronutrientes

#### 4.1.1 Composición del alimento

En el análisis del alimento empleado (Tabla IX, página 43) se observó un mayor contenido en grasas en el cangrejo con respecto a la boga (9,66% frente a 5,04% para la boga pequeña y 3,50% para la grande). El contenido en proteínas fue superior para la boga, 91,92% en la pequeña y 90,02% en la grande, mientras que el cangrejo presentó un 59,20%. Por lo tanto el contenido en nitrógeno fue mayor en la boga que en el cangrejo.

El contenido en fósforo no presentó grandes diferencias, ya que el rango para los tres alimentos osciló entre 1,038-1,318%.

#### 4.1.2 Composición de los pulpos tras la experimentación

En la Tabla XII se muestra la composición en macronutrientes, nitrógeno y fósforo de los pulpos empleados en los tres experimentos.

El contenido en proteínas no presentó diferencias significativas ni por grupo ni por el tipo de alimento ingerido, estando su valor medio comprendido entre 79,16-82,54%.

Respecto a la grasa, los valores presentaron un rango estrecho, 1,91-3,02%, sin presentar diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).

**Tabla XII: Composición de los ejemplares de pulpo (porcentaje en sustancia seca)**

	<i>Boga</i>			<i>Cangrejo</i>		
	P	M	G	P	M	G
<b>Humedad</b>	79,47 <sup>a</sup> ±0,01	79,22 <sup>a</sup> ±0,05	81,81 <sup>b</sup> ±0,33	80,04 <sup>a</sup> ±1,22	80,10 <sup>a</sup> ±0,1	82,02 <sup>b</sup> ±0,06
<b>Proteína</b>	79,32±0,41	79,51±0,24	75,96±0,88	77,89 ±2,59	82,54±1,21	79,16±1,50
<b>Grasa</b>	2,93 ±0,16	2,64±0,00	2,20±0,02	3,02±0,72	2,68±0,24	1,91±0,06
<b>Cenizas</b>	10,87 <sup>ab</sup> ±0,09	9,95 <sup>a</sup> ±0,37	12,83 <sup>b</sup> ±0,23	10,21 <sup>ab</sup> ±0,74	10,27 <sup>a</sup> ±0,17	11,96 <sup>b</sup> ±0,16
<b>P</b>	0,91±0,09	0,84±0,14	0,94±0,01	0,80±0,07	0,75±0,07	0,87±0,03
<b>N</b>	12,68 <sup>a</sup> ±0,05	12,87 <sup>a</sup> ±0,15	12,15 <sup>b</sup> ±0,14	12,46 <sup>a</sup> ±0,41	12,79 <sup>a</sup> ±0,90	12,66 <sup>b</sup> ±0,24

Los valores son expresados como la media ± desviación estándar de tres ejemplares. Valores en una misma línea con distinto superíndice indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

P: corresponde al grupo experimental 2

M: corresponde al grupo experimental 1

G: corresponde al grupo experimental 3



El valor medio de nitrógeno, entre 12,15-12,87%, si manifestó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en función del grupo, ya que hubo diferencias entre el grupo de los pulpos grandes (G) y los otros dos (P y M).

El contenido en fósforo varió entre 0,75%-0,94%, sin presentar estas diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).

El porcentaje medio de humedad osciló entre los valores 79,22-82,02%, siendo significativas las diferencias ( $p < 0,05$ ) encontradas entre el grupo G (con mayor contenido en humedad) y los otros dos (P y M).

En cuanto a las cenizas, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) por grupo (entre M y G), estando el rango entre 9,95-12,83%, y siendo mayor para el grupo G.

#### 4.1.3 Composición de las heces

La Tabla XIII muestra la composición en peso seco de las heces obtenidas de los pulpos alimentados con boga y cangrejo de los tres grupos experimentales.

El contenido en proteínas de las heces presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en función del alimento, estando el valor medio comprendido entre 20,22-43,15%. El valor medio de proteína fue mayor para los ejemplares alimentados con boga que para los alimentados con cangrejo.

**Tabla XIII: Composición de las heces (porcentaje en sustancia seca)**

	Boga			Cangrejo		
	P	M	G	P	M	G
<b>Sust.seca</b>	94,42 <sup>a</sup> ±0,04	95,27 <sup>b</sup> ±0,20	94,64 <sup>a</sup> ±0,20	94,24 <sup>a</sup> ±0,07	95,42 <sup>b</sup> ±0,27	94,84 <sup>a</sup> ±0,07
<b>Proteína</b>	35,51 <sup>a</sup> ±0,47	43,15 <sup>a</sup> ±0,92	29,99 <sup>a</sup> ±1,15	21,23 <sup>b</sup> ±0,10	24,28 <sup>b</sup> ±0,20	20,22 <sup>b</sup> ±0,18
<b>Grasa</b>	3,71±0,08	5,40±1,02	12,65±0,09	4,63±0,20	4,66±0,11	7,18±0,10
<b>Cenizas</b>	51,25±0,12	56,54±1,21	48,53±0,38	57,60±0,38	57,23±0,49	57,88±0,99
<b>CIA</b>	0,60 <sup>a</sup> ±0,14	0,91 <sup>a</sup> ±0,18	1,12 <sup>a</sup> ±0,31	1,73 <sup>b</sup> ±0,03	1,67 <sup>b</sup> ±0,09	1,27 <sup>b</sup> ±0,21
<b>P</b>	1,21±0,13	3,81±0,06	2,26±0,04	1,73±0,11	2,54±0,08	3,34±0,07
<b>N</b>	5,68 <sup>a</sup> ±0,07	6,90 <sup>a</sup> ±0,15	4,80 <sup>a</sup> ±0,18	3,40 <sup>b</sup> ±0,02	3,88 <sup>b</sup> ±0,03	3,23 <sup>b</sup> ±0,03

Los valores son expresados como la media  $\pm$  desviación estándar tres muestras. Valores en una misma línea con distinto superíndice indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

CIA: cenizas insolubles en ácido.



A pesar de que el cangrejo presentó un contenido en grasa más alto que la boga, no se observaron diferencias significativas ( $p>0,05$ ) en el valor medio de grasa en las heces en función del alimento. Tampoco existieron diferencias por grupo, siendo su media entre 3,71-12,65%.

Las cenizas (entre 51,25%-57,88%) no presentaron tampoco diferencias significativas, sin embargo las cenizas insolubles en ácido (AIA) presentaron diferencias significativas ( $p<0,05$ ) en función del alimento, entre 0,60-1,73%. Los valores de estas son más altos para los ejemplares alimentados con cangrejo.

El contenido medio de fósforo en las heces no presenta diferencias significativas ( $p>0,05$ ), teniendo un rango entre 1,21-3,81%.

Al igual que ocurre con el contenido medio de proteínas, el de nitrógeno presentó diferencias significativas en función del tipo de alimento (valores que oscilan entre 3,32-6,90%), siendo más altos los valores de los ejemplares alimentados con boga.

En cuanto a la sustancia seca, existieron diferencias significativas entre el grupo M y los otros dos, P y G, estando los valores comprendidos entre 94,24-95,42%.

### 4.2 Coeficientes de digestibilidad aparente

Los valores de la digestibilidad aparente calculados para sustancia seca (CDAMS), proteínas (CDAPRO), grasas (CDAGRA), nitrógeno (CDAN) y fósforo (CDAP) se presentan en la Tabla XIV. Los valores obtenidos son altos, lo cual refleja la alta asimilación de las dietas empleadas.

Los valores obtenidos para el coeficiente de digestibilidad aparente de la materia seca oscilaron entre 93,69-96,81%, sin presentar diferencias significativas.

En el caso de la proteína, los valores 97,56-98,87%, y a pesar de tener un rango tan



estrecho, se detectaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre el grupo pequeño alimentado con boga (PB), el pequeño alimentado con cangrejo (PC) y el grande alimentado con boga (GB).

El coeficiente de digestibilidad aparente de la grasa presentó valores medios entre 91,22-98,48%, presentando diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre el grupo GB con PC, PB, MC y GC.

**Tabla XIV. Coeficientes de digestibilidad aparente**

	Boga			Cangrejo		
	PB	MB	GB	PC	MC	GC
CDAMS	93,69 <sup>a</sup> ±1,41	94,74 <sup>a</sup> ±2,06	96,54 <sup>a</sup> ±0,88	96,81 <sup>a</sup> ±0,51	96,67 <sup>a</sup> ±0,58	95,64 <sup>a</sup> ±0,77
CDAPRO	97,56 <sup>a</sup> ±0,74	98,37 <sup>ab</sup> ±0,40	98,87 <sup>b</sup> ±0,30	98,85 <sup>b</sup> ±0,18	98,63 <sup>ab</sup> ±0,31	98,52 <sup>ab</sup> ±0,19
CDAGRA	95,29 <sup>a</sup> ±1,49	94,87 <sup>ab</sup> ±1,17	91,22 <sup>b</sup> ±2,90	98,48 <sup>a</sup> ±0,27	98,36 <sup>a</sup> ±0,81	96,73 <sup>a</sup> ±0,78
CDAN	97,56 <sup>a</sup> ±0,74	98,37 <sup>ab</sup> ±0,40	98,87 <sup>b</sup> ±0,30	98,85 <sup>b</sup> ±0,18	98,64 <sup>ab</sup> ±0,31	98,52 <sup>ab</sup> ±0,19
CDAP	93,18 <sup>a</sup> ±1,41	90,51 <sup>ab</sup> ±2,61	93,07 <sup>a</sup> ±2,44	95,11 <sup>a</sup> ±1,12	92,41 <sup>a</sup> ±0,37	86,70 <sup>b</sup> ±0,69

Los valores son expresados como la media  $\pm$  desviación estándar. Valores en una misma línea con distinto superíndice indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

Donde B y C: boga y cangrejo.

CDAMS: coeficiente de digestibilidad aparente materia seca.

CDAPRO: coeficiente de digestibilidad aparente proteína.

CDAGRA: coeficiente digestibilidad aparente de grasa.

CDAN: coeficiente digestibilidad aparente de nitrógeno.

CDAP: coeficiente digestibilidad aparente de fósforo.

En el CDAP los valores obtenidos estuvieron entre 86,70-95,11%, siendo significativas ( $p < 0,05$ ) las diferencias encontradas entre los grupos PC, PB, MC, GC, GB.

Al no encontrar diferencias importantes en los valores medios obtenidos considerando las dos variables (alimento y grupo) se realizó un análisis de la varianza del peso y el alimento por separado.

Evaluando los coeficientes de digestibilidad medios para todos los grupos de peso en función del alimento empleado (Tabla XV), se observó que no existen diferencias significativas para ningún coeficiente de digestibilidad, salvo para el CDAGRA. Los valores



obtenidos en este caso (95,83% para la boga y 97,86% para el cangrejo) fueron significativamente diferentes, siendo el valor medio más alto para el cangrejo.

**Tabla XV. Digestibilidad en función del alimento.**

	CDMS	CDPRO	CDGRA	CDP
Boga	94,99±1,82	98,26±0,57	95,83 <sup>a</sup> ±2,84	92,25±2,32
Cangrejo	96,38±0,78	98,67±0,25	97,86 <sup>b</sup> ±1,02	91,40±3,78
Media	95,68±1,53	98,47±0,57	95,83±2,84	91,83±3,08

Los valores son expresados como la media ± desviación estándar. Valores en una misma columna con distinto superíndice indica diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

Para la digestibilidad por grupos de peso, sin tener en cuenta el alimento ingerido, (Tabla XVI) se encontraron diferencias significativas en el coeficiente de digestibilidad del fósforo entre el grupo P y el G, siendo el valor medio inferior para éste último. Por lo tanto existe una tendencia a reducirse la digestibilidad del fósforo con el peso.

**Tabla XVI. Digestibilidad en función del grupo de peso.**

	CDMS	CDPRO	CDGRA	CDP
P	95,25±1,95	98,21±0,86	96,88±1,99	94,15 <sup>a</sup> ±1,55
M	95,74±1,72	98,50±0,35	96,61±2,12	91,46 <sup>ab</sup> ±1,97
G	96,10±0,90	98,70±0,30	93,98±3,57	89,88 <sup>b</sup> ±3,84
Media	95,68±1,53	98,47±0,57	95,83±2,84	91,83±3,08

Los valores son expresados como la media ± desviación estándar de. Valores en una misma columna con distinto superíndice indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

### 4.3 Efecto del peso y el tipo de alimento sobre los coeficientes de digestibilidad aparente.

La Tabla XVII muestra el análisis de regresión múltiple del modelo propuesto, que pretende relacionar el peso y el tipo de alimento con la digestibilidad del mismo. Dado que los coeficientes de digestibilidad obtenidos, a pesar de tener ciertas diferencias significativas, presentan un rango de valores muy estrecho, cuando se les hace el análisis de regresión



múltiple, el resultado obtenido no muestra diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).

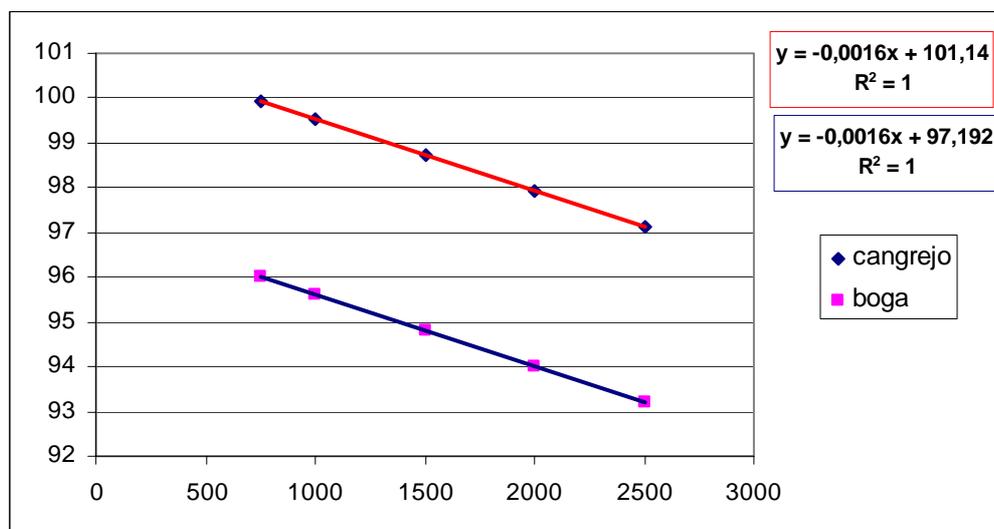
Ni el coeficiente de digestibilidad del nitrógeno ni el del fósforo muestran significación estadística, por lo tanto no se ajustan al modelo planteado.

**TablaXVII: Resultados del análisis de regresión múltiple**

	a ± e.s p	b ± e.s p	c ± e.s p	R R2-adj ESE	ANOVA F p
CDAMS	95,49±0,97 0,001	-1,419±0,659 0,05	0,0004±0,0004 n.s.	0,518 17,14 1,396	2,757 n.s.
CDAPRO	98,18±0,36 0,001	-0,418±0,246 n.s	0,0002±0,0002 n.s	0,502 0,152 0,521	2,528 n.s
CDAGRA	101,14±1,04 0,001	-3,948±0,705 0,001	-0,0016±0,0004 0,01	0,869 0,722 1,494	23,143 0,001
CDAN	98,18±0,36 0,001	-0,418±0,246 n.s	0,0002±0,0002 n.s	0,502 0,152 0,521	2,528 n.s
CDAP	95,55±1,89 0,001	0,998±1,286 n.s	-0,0020±0,0008 0,001	0,554 0,214 2,725	3,326 n.s

Valores ± desviación estándar; ESE= estimación del error estándar; n.s = no significativo  
 CD=a+bA+cP, donde A = alimento ( 0 para cangrejo y 1 para boga) y P = peso

**Gráfico 1: Representación del análisis de regresión múltiple para los coeficientes de digestibilidad aparente de la grasa**



En el caso del CDAGRA existe significación en el modelo propuesto ( $p < 0,001$ ), por lo que habrá influencia del peso y del tipo de alimento ingerido en la digestibilidad de la grasa. La pendiente que proporciona el análisis es negativa (Gráfico 1), por lo que se puede decir que con el incremento de peso el coeficiente de digestibilidad de la grasa se hace más pequeño.

El coeficiente de digestibilidad del fósforo no presenta significación en cuanto al modelo propuesto, sin embargo hay significación ( $p < 0,05$ ) en la influencia del peso.

#### 4.4 Estimación de los aportes de N y P de una jaula de engorde de pulpo

A partir de los análisis del contenido en N y P del el alimento, las heces y los ejemplares de pulpo, y con los cálculos realizados se obtuvo la siguiente estimación:

**Tabla XVIII: Balance de N y P en un ciclo de producción**

<b>Producción de 1 tonelada</b>			
	<b>Cangrejo</b>	<b>Boga</b>	
<b>Alimento suministrado (Kg)</b>	5128(100%)	2403 (100%)	
N (Kg)	162,4	129,5	
P (Kg)	43,1	21,3	
<b>Alimento ingerido (Kg)</b>	2564 (50%)	1935 (77,5%)	
N (Kg)	52,5 (100%)	61,0 (100%)	
P (Kg)	5,8 (100%)	5,0 (100%)	
<b>Retenido (Crecimiento)</b>			
N (Kg)	19,2 (36,5%)	19,6 (32,2%)	
P (Kg)	1,2 (21,3%)	1,4 (28,1%)	
<b>Excreción (Columna de agua)</b>			
N (Kg)	32,6 (62,13%)	40,4 (66%)	
P (Kg)	3,2 (70,1%)	3,2 (64%)	
<b>Heces (Fondo)</b>			
N (Kg)	0,7 (1,3%)	0,9 (1,5%)	
P (Kg)	0,5 (8,6%)	0,4 (8,2%)	
<b>Fracción no comestible (Kg)</b>	<b>Caparazones</b>	<b>Espina</b>	<b>Cabeza y cola</b>
<b>(Fondo)</b>	2564 (50%)	71,59 (2,97%)	486,68(19,50%)
N (Kg)	109,9	1,34	69,44
P (Kg)	37,4	1,56	14,90



La retención de N y P para crecimiento ha sido similar tanto en el cangrejo como en la boga, estando comprendido entre el 20-30%. Se observó que la principal vía de eliminación de estos dos elementos es la excreción, encontrando que por mediación de las heces se elimina como mucho el 1,5% del N y el 8,6% del P.

En el caso de la fracción no comestible la mayor acumulación de restos la provocó los caparazones de cangrejo, generando por ciclo de producción 2564 Kg. Los restos de boga supusieron un 22,5% (558,27 Kg) del total ingerido.



## 5. Discusión

### 5.1 Composición del alimento

La composición del alimento empleado en estos experimentos (Tabla IX) difiere bastante en cuanto al contenido en grasas encontrado por García García y Cerezo (2005). El porcentaje de grasa que encontraron (en sustancia seca) para la boga fue del 20,36%, superior al del cangrejo (2,38%) y superior al de la boga y cangrejo empleados en el presente trabajo. Respecto a las proteínas, el cangrejo presentaba un contenido similar al de este trabajo (57,36%), sin embargo en la boga era inferior (67%). Es importante tener en cuenta que al tratarse de alimento proveniente del medio natural las variaciones en la composición de macronutrientes pueden ser grandes, ya que las condiciones tróficas y reproductivas pueden influir en el contenido sobre todo de grasas.

### 5.2 Composición corporal del pulpo.

Una característica de los cefalópodos es su alto contenido en proteínas y su bajo contenido en grasas. Lee (1994) en una revisión sobre la composición corporal en cefalópodos (Tabla XIX) proporciona unos datos generales de 17,7% de proteínas y de 1,45% de grasas en peso húmedo. Los valores obtenidos en este trabajo están situados dentro de la media global para esta familia, y coinciden con los obtenidos por García García y Cerezo (2005).

**Tabla XIX: Composición corporal de cefalópodos.**

	Proteína	Lípidos	Cenizas	Humedad	Referencia
<b>Cefalópodos</b>	17,7 ± 1,1	1,45 ± 0,45	1,56 ± 0,10	79,0 ± 0,81	Lee, 2004
<i>O. vulgaris</i>	16,22 ± 0,58	0,42 ± 0,10	2,25 ± 0,05	79,07 ± 0,65	García García y Cerezo, 2005
<i>O. vulgaris</i>	15,46 ± 2,16	0,5 ± 0,43	2,15 ± 1,14	80,44 ± 1,18	Este trabajo

La composición corporal de los ejemplares en experimentación no ha presentado variaciones influidas por el tipo de alimento ni por el peso. No se han encontrado



variaciones en el contenido final de proteínas, lo que coincide con lo observado por García García y Cerezo (2005). Estos autores alimentaron ejemplares de pulpo común con dietas combinadas de boga y cangrejo en diferente proporción -pero sin diferencias significativas en cuanto a su contenido en proteínas- y no obtuvieron diferencias en la composición final de proteína de los pulpos. Posiblemente el hecho de que la proteína sea un componente estructural es la causa de que no haya cambios a lo largo del tiempo.

Respecto al contenido en lípidos no se han encontrado diferencias significativas entre los ejemplares alimentados con boga y los alimentados con cangrejo, a pesar de que éste tiene mayor contenido en grasas. En el trabajo de García García y Cerezo (2005), el contenido en lípidos de los ejemplares aumentó respecto al control para aquellos que ingerían, de manera parcial o total, boga en la dieta, ya que esta presentaba un mayor contenido en lípidos que el cangrejo. Es importante destacar que la composición del alimento empleado en el presente trabajo difiere totalmente al de estos últimos, ya que el cangrejo contenía más lípidos que la boga, a la inversa que para el trabajo de García García y Cerezo (2005).

El uso que realiza el pulpo de los lípidos se reduce probablemente a la formación de colesterol, hormonas esteroideas y estructuras de membrana (Lee, 1994). Por lo tanto no tienen importancia en el metabolismo energético, algo que queda patente por la ausencia de oxidación de ácidos grasos a nivel mitocondrial (Ballantyne *et al*, 1981, en Lee 1994). Los requerimientos lipídicos para los cefalópodos son bajos, pero importantes para asegurar el crecimiento. En el caso del pulpo, García García y Cerezo (2005) sugieren alrededor de 2-3% de lípidos como cantidad suficiente para cubrir sus requerimientos.

### 5.3 Composición de las heces.

El contenido en grasas de las heces no presenta diferencias significativas entre los ejemplares que han tomado distinta dieta. García García y Aguado (2002) observaron que,



pulpos alimentados con sardina (19,64% de materia grasa, en sustancia húmeda) generaban unas heces con un alto contenido en grasas, en comparación con las de los ejemplares alimentados con boga (5,94% de materia grasa, en sustancia húmeda). En el presente trabajo la no existencia de diferencias puede deberse a que el contenido de grasa en el alimento ha sido más bajo que en el caso de García García y Aguado (2002) y puede que, a pesar de que el cangrejo presentase un mayor contenido en grasas (9,66%, en sustancia seca) que la boga (3,50%), la “calidad” de las mismas las hiciera más digeribles y por ello no fueran liberadas por las heces, sino que pudieron ser procesadas e incorporadas en el organismo. Se observa que las heces de los pulpos de mayor tamaño tienen un porcentaje de grasa superior, sin ser este significativo. A pesar de no haber encontrado diferencias significativas en la digestibilidad de la grasa en función del peso, habría que corroborar experimentalmente si el metabolismo lipídico pudiera verse afectado por la talla.

En el caso del nitrógeno se ha encontrado un mayor porcentaje de este en las heces de ejemplares alimentados con boga (5,79% de media) que en los alimentados con cangrejo (3,5% de media). Es posible que a pesar de que la boga aporte mayor cantidad de nitrógeno que el cangrejo, el pulpo no necesite retener tanta cantidad y por ello elimine el que no es necesario por las heces.

### 5.4 Coeficientes de digestibilidad aparente.

Los trabajos de digestibilidad en cefalópodos son muy escasos (Lee, 1994; O’Dor, 1984; Hernández y García García 2004 ) y la metodología que se ha empleado en ellos es muy diferente.

En el presente trabajo no se han encontrado grandes diferencias en los coeficientes de digestibilidad obtenidos ni en función del peso ni del alimento, y en comparación con los



aportados por la bibliografía consultada (Tabla XX) los valores son similares para el coeficiente de digestibilidad de la proteína, pero difiere en el caso de la grasa.

**Tabla XX: Coeficientes de digestibilidad aparente en cefalópodos**

Especie	CDAMS	CDAGRA	CDAPRO	Referencia
<i>O. vulgaris</i>	ND	46	96	O'Dor et al., 1984
<i>S. officinalis</i>	43-57	44-74	81-92	Lee, 1994
<i>O. vulgaris</i>	96,48	96,25	98,33	Hernández y García García, 2004
<i>O. vulgaris</i>	95,68	95,83	98,47	Este trabajo

ND: dato no determinado

CDAMS: coeficiente de digestibilidad aparente de la materia seca.

CDAGRA: coeficiente de digestibilidad aparente de la grasa.

CDAPRO: coeficiente de digestibilidad aparente de la proteína.

La digestibilidad obtenida de las proteínas (98,47%) coincide con la que obtuvo O'Dor *et al.* en 1984 (96%) y con la obtenida por Hernández y García García (2004). Este alto coeficiente de digestibilidad refleja la importancia que tiene el metabolismo proteico en esta especie, siendo su principal fuente de energía. Sin embargo existen diferencias en el CDAGRA con el obtenido por O'Dor *et al.*, siendo más alto el que se ha obtenido en el presente trabajo, debido posiblemente al bajo contenido en lípidos de las dietas empleadas. Es importante señalar que la metodología empleada es muy diferente, ya que en el trabajo de O'Dor *et al.*, se inyectaba a los pulpos el alimento (cangrejo) parcialmente digerido, y la evaluación de su asimilación se hacía por medio de marcadores radiactivos. Los resultados que obtuvieron respecto a la digestibilidad de las grasas les llevó a concluir que es un proceso lento e ineficaz, y lo es en comparación con el metabolismo de las proteínas. Posiblemente la metodología y el tiempo que se empleó en esta evaluación no fue suficiente para poder detectar el coeficiente de digestibilidad en su totalidad, y por eso su resultado sea inferior. Es probable que el cálculo de los coeficientes de digestibilidad aparente realizados en el presente trabajo, empleando como marcador las cenizas insolubles en ácido sea más eficaz en este



sentido. El coeficiente de digestibilidad obtenido es muy similar al que obtuvieron en 2004 Hernández y García García, habiendo empleado estos autores la misma metodología que la usada en el presente trabajo.

La digestibilidad obtenida por Lee (1994) en *Sepia officinalis* alimentada con dieta artificial presenta unos valores similares en cuanto a la proteína, sin embargo la grasa presenta un coeficiente inferior al obtenido en el presente trabajo. En este trabajo emplearon un marcador inerte (óxido crómico) en los piensos, que eran semi-húmedos y basados en pollo (crudo, salchichas) y camarón entre otros productos, pero no obtuvieron una buena aceptación ni crecimiento. El CDAGRA más alto lo obtuvieron con una dieta de bajo contenido en proteína, posiblemente debido a que la grasa fue utilizada como fuente de energía. Es probable que la baja digestibilidad para la grasa obtenida en este trabajo se deba a que la cantidad de grasa suministrada en los piensos sea alta, superior a la capacidad de asimilación de las mismas por *Sepia officinalis*.

A pesar de que el objetivo del presente trabajo es una evaluación de la digestibilidad del N y P por parte del pulpo, los cálculos de digestibilidad de la grasa tienen su justificación por la posible influencia de ésta en la absorción de proteínas. En peces se han observado daños en el epitelio intestinal como consecuencia de la excesiva acumulación de lípidos (Deplano *et al.*, 1989; Olsen *et al.*, 2000), lo cual puede afectar a la asimilación de nutrientes. García García y Aguado (2002) encontraron que pulpos alimentados con sardina tenían peor crecimiento que los alimentados con boga y presentan una mayor tasa de ingestión, generando además heces con alto contenido en grasas. García García y Cerezo (2005) sugieren que altas cantidades de grasas en el tracto digestivo dificultarían la absorción de aminoácidos, así pues el pulpo intentaría compensar la baja digestibilidad de la proteína incrementando la tasa de alimentación.



El alto coeficiente de digestibilidad obtenido para la grasa, en este trabajo, empleando dos alimentos con bajo contenido de esta, es debido, presumiblemente, a que la digestibilidad de la grasa está en función del nivel de lípidos en la dieta, lo cual debe ser corroborado experimentalmente.

Las diferencias encontradas en el análisis de la varianza para el CDAP muestra significación en función del peso, siendo menor este coeficiente para los ejemplares de mayor peso (grupo G). Sin embargo en el análisis de regresión múltiple del modelo planteado no es significativo, por lo que habrá que corroborar este punto experimentalmente para asegurar si el peso tiene influencia en la digestibilidad del fósforo. Es posible que los requerimientos de fósforo sean mayores en los ejemplares jóvenes que en los adultos y por ello en estos últimos se pierda más en heces o por excreción.

Los coeficientes de digestibilidad para N y P obtenidos en el pulpo son superiores a otras especies de teleósteos (Tabla XXI). El CDAN en el pulpo es similar al obtenido por Aguado y García García (2004) en el atún y ligeramente superior al obtenido en dorada por Lupatsch y Kissil (1998). En el caso del atún, el coeficiente es muy similar, dado que ambas especies son carnívoras, tienen un metabolismo proteico alto y han sido alimentadas con especies muy parecidas. La diferencia en la dorada es debida a que esta es alimentada con dietas secas que suelen presentar un porcentaje en harinas vegetales y estas harinas tienen menor digestibilidad.

El coeficiente de digestibilidad para el fósforo obtenido en este trabajo es muy superior a los consultados, en la bibliografía, para otras especies. Así el pulpo presenta mayor CDAP que la dorada, dado que, al igual que lo planteado anteriormente, las dietas artificiales contienen más fósforo del que necesitan los peces (las harinas de pescado que los componen



incluyen el esqueleto y escamas) de forma que la eficiencia de retención se reduce cuando lo ingerido es superior a los requerimientos del pez.

En comparación con el atún, que es alimentado con dietas naturales, el pulpo también presenta una digestibilidad para el fósforo mayor, pero hay que considerar que en el trabajo de Aguado y García García (2004) los peces que se les suministraban a los atunes eran enteros, y que el atún a diferencia del pulpo los ingiere totalmente. Por lo tanto la cantidad de fósforo ingerida es superior a la que tienen los pulpos en este trabajo y posiblemente superior también a sus requerimientos nutricionales.

**Tabla XXI. Coeficientes de digestibilidad aparente de N y P para dorada, atún y pulpo común.**

<b>Especie</b>	<b>CDAN</b>	<b>CDAP</b>	<b>Referencia</b>
<i>Sparus aurata</i>	82,8±0,2	47,8±2,8	Lupatsch y Kissil, 1998
<i>Thunnus thynnus</i>	93,74±3,27	48,14±5,52	Aguado y García García, 2004
<i>Octopus vulgaris</i>	98,47±0,57	91,83±3,08	Este trabajo

CDAN: coeficiente de digestibilidad aparente del nitrógeno

CDAP: coeficiente de digestibilidad aparente del fósforo

### 5.5 Estimación de los aportes de N y P en un ciclo de producción de engorde de pulpo.

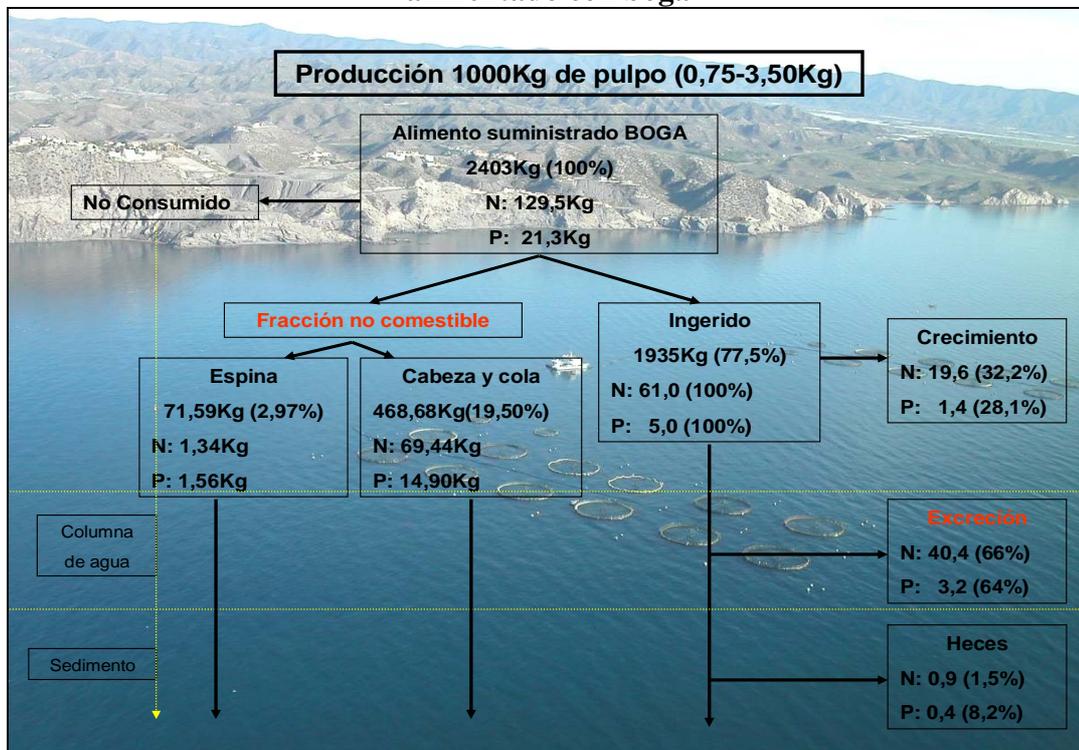
Los vertidos provocados por una instalación de engorde de pulpo son cualitativa y cuantitativamente diferentes a los de los cultivos de otras especies. Debido a la forma de alimentarse que presenta el pulpo hay una gran parte del alimento que no es ingerida, lo que corresponde a la fracción no comestible (caparazones, cabezas, colas y espinas). Esta fracción es la principal fuente de vertidos de N y P en las instalaciones de engorde en jaulas, ya que si no queda retenida en el interior de la jaula podrá acabar acumulada en el sedimento. El N y P que han ingerido y que no van a necesitar será liberado principalmente en forma de excreción, siendo esta la fuente mas importante de vertidos derivados de la asimilación del alimento, ya que de forma particulada, es decir, por las heces se libera N y P en bajas cantidades. La



cantidad de alimento no consumido y que por lo tanto es vertido directamente al medio sin ser aprovechado, va a depender de la gestión que se realice de la alimentación.

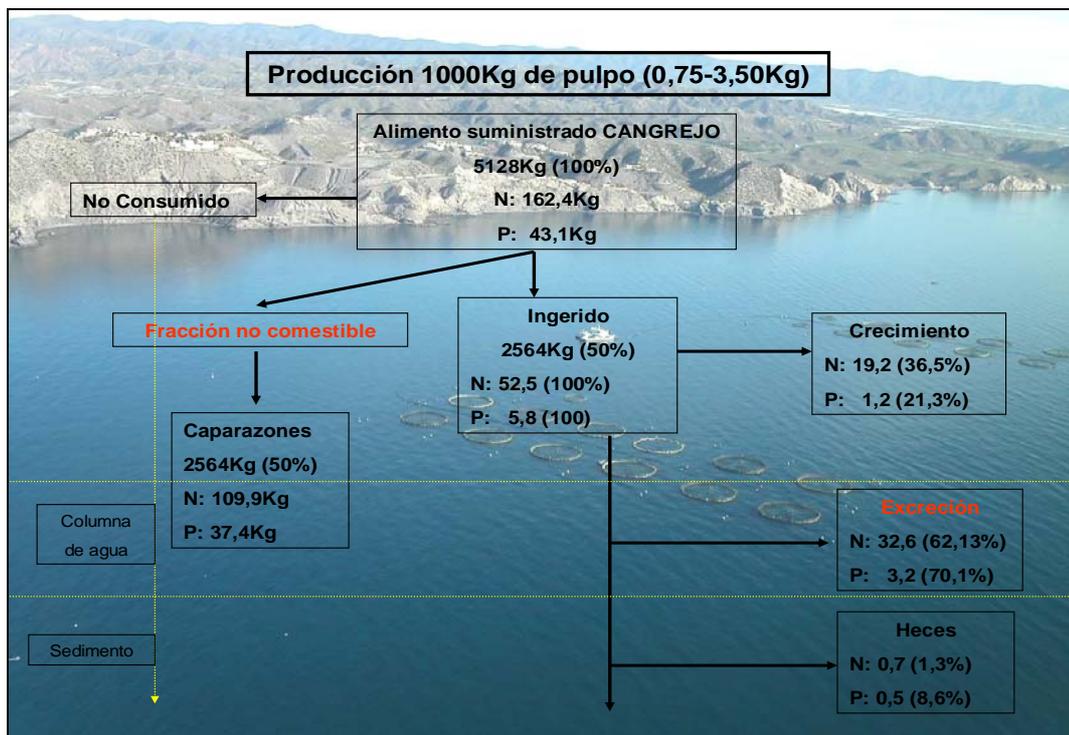
En una instalación experimental con una producción de 1tonelada de pulpo alimentado con boga, iniciando el cultivo con ejemplares de 750 g hasta alcanzar una talla comercial de 3,5kg, se estima que la cantidad de alimento a suministrar (con un IC de 2,46) sería de 2403kg (ver Figura 6). El 22,5% del alimento no sería ingerido, ya que corresponde a las cabezas, colas y espinas. Los pulpos ingerirían 1935kg, lo que supone 61kg de nitrógeno y 5kg de fósforo. De esta cantidad serían retenidos para el crecimiento 19,6kg de N y 1,4kg de P (el 32,2% y 28,1% del total ingerido). El resto serán eliminados por excreción (40kg de N y 3,2kg de P) y en forma particulada (0,9kg de N y 0,4kg de P). Las cabezas y colas, que no ingieren, supondrían 468,7kg, que en términos de N y P son 69,4kg y 15kg respectivamente. Las espinas (71,6kg) serían 1,3kg de N y 1,5kg de P.

**Figura 8: Simulación de los vertidos de N y P para una jaula de engorde de pulpo alimentado con boga**



Si esta misma instalación en vez de alimentarse a base de boga, lo hiciera con cangrejo (Figura 7), habría que suministrarle 5128kg, de los cuales el 50% (2564kg) sería caparazones (fracción no comestible), estos aportarían al medio 109,9kg de N y 37,4kg de P. El otro 50% del alimento sería ingerido por los pulpos (52,5kg de nitrógeno y 58kg de fósforo). El 36,5% del N (19,2kg) y el 21,3% del P (1,2kg) quedarían retenidos por los animales para su crecimiento. Estos liberarían por excreción 32,6kg (62,13%) de N y 3,2kg de P (70,1%), mientras que por las heces liberarían 0,7kg de N y 0,5kg de P (1,3% y 8,6% de N y P del total ingerido).

**Figura 9: Simulación de los vertidos de N y P para una jaula de engorde de pulpo alimentado con cangrejo**



El porcentaje de nitrógeno procedente de la excreción en el pulpo no es muy diferente al obtenido en otras especies de teleósteos como la dorada o la lubina (ver tabla XXII). Sin embargo en el caso de los vertidos particulados, el bajo porcentaje de nitrógeno que se encuentra en el pulpo en comparación con la dorada, lubina y atún refleja la alta digestibilidad que tiene este de la proteína (98,26% para la boga y 98,67% para el cangrejo). En un balance global el pulpo liberaría al medio el 66,61% del nitrógeno ingerido, siendo del 95,5% para el atún, 78% para la dorada y del 73% para la lubina. El pulpo parece que realiza un mejor uso de la proteína como fuente de energía que estas otras especies carnívoras, lo cual indica que tiene un alto metabolismo proteico.

**Tabla XXII: Balance de N y P para distintas especies**

Especie	Retenido (%)		Particulado (%)		Disuelto (%)		Referencia
	N	P	N	P	N	P	
<i>Octopus vulgaris</i>							
Alimentado con Boga	33,4	29,2	1,53	8,17	65,08	62,6	Este trabajo
Alimentado con Cangrejo	36,5	21,3	1,3	8,60	62,13	70,1	
Atún ( <i>Thunnus thynnus</i> )	5,26	9,25	6,17	55,8	89,3	40,1	Aguado & García García (2003)
Dorada ( <i>Sparus aurata</i> )	22	29	10	44	68	27	Lupatsch & Kissil (1998)
Lubina ( <i>Dicentrarchus labrax</i> )			12	42	61	27	Lemarié <i>et al.</i> (1998)

Según Rouhonen *et al.* (1999), en el caso de los teleósteos los desechos totales de fósforo están condicionados principalmente por el contenido de este mineral en la dieta, los niveles en el plasma (Phillips, 1962) y los requerimientos, de forma que la eficiencia de retención se reduce cuando lo ingerido es superior a los requerimientos del pez. En peces se han establecido unos requerimientos de entre 2-8 g/kg (Lall 1991; Eya y Novell, 1997; Roy y Lall, 2003). En el caso del pulpo, los requerimientos de fósforo no son conocidos, pero los datos aquí obtenidos reflejan que éstos retienen una cantidad similar a la dorada (25,25%



de media para el pulpo y 29% para dorada). A pesar de que los cefalópodos carecen de una estructura ósea, que es el principal lugar de almacenamiento de este mineral, retienen una cantidad importante que la destinarían a otras funciones metabólicas.

El engorde en jaula de atunes se realiza al igual que el engorde de pulpo, con dietas naturales, normalmente especies de bajo interés comercial. En el atún, Aguado y García García (2004) encontraron que, en comparación con la dorada y la lubina (especies también carnívoras) el fósforo retenido es inferior, por lo tanto los vertidos totales de fósforo son mayores. El coeficiente de digestibilidad del atún es similar al de la dorada, por lo tanto el hecho de que en este los vertidos sean mayores puede deberse no tanto a cuestiones de digestibilidad del alimento, sino a que la cantidad de fósforo suministrada en el alimento fuera superior en el atún. Ruohonen *et al.* (1999) obtuvieron conclusiones similares cuando compararon la alimentación de truchas con pienso seco y con arenque. La cantidad de fósforo retenida por el pulpo es mayor a la que presenta el atún en el trabajo de Aguado y García García (2004) a pesar de ser las dos especies alimentadas con el mismo tipo de alimento. Esto es debido a que la cantidad de fósforo que se ha estimado que ingiere el pulpo es menor (al no considerar caparazones cabeza y colas) sin embargo, en el caso del atún se le suministraba piezas enteras, por lo que la cantidad de fósforo que ingerían era mayor.

De los datos obtenidos se deduce que la principal vía de eliminación de N y P que presenta el pulpo es la excreción. Sin embargo, esta no sería una fuente importante de contaminación en sistemas en mar abierto (Beveridge 1996; Pitta *et al.*, 1999; Karakassis, 2001) ya que estos aportes se dispersan rápidamente, sin provocar efectos de eutrofización. Por otro lado los efectos que las formas disueltas tienen en el medio dependen de la velocidad a la que se diluyen antes de ser asimilados por el fitoplancton, y en el Mediterráneo las granjas marinas se ubican en zonas abiertas.



En muchos trabajos se ha planteado que la mayor parte de los residuos particulados generados por las jaulas de engorde son consumidos por las poblaciones de peces que viven alrededor de estas instalaciones (Machias *et al.*, 2004, Pearson y Black, 2001, Hevia *et al.*, 1996, Carss, 1990), sin embargo se ha encontrado que las características del sedimento de debajo de las jaulas permanecen afectadas una vez finalizada la actividad (Karakassis *et al.*, 1999). Por lo tanto los residuos particulados son los que más efecto tendrían en el medio.

En este balance se ha encontrado que este tipo de residuos son muy inferiores a los obtenidos en otras especies, por lo tanto en el engorde de pulpo este no sería un elemento preocupante, si no se tiene en cuenta los residuos provocados por el alimento.

La fracción de alimento no ingerida consiste en peces y cangrejos enteros, con poca probabilidad de que sean consumidos a lo largo de la columna de agua. Estos pueden acabar acumulándose en el fondo y siendo descompuestos por bacterias y otros organismos oportunistas (peces, cangrejos, etc.). A este respecto todavía no se han realizado estimas de las pérdidas de alimento, como se han encontrado para las producciones con piensos (Phillips *et al.*, 1985; Gowen y Bradbury, 1987; Beveridge *et al.*, 1991; Dosdat, 2001), pero evidentemente dependen de la gestión de la alimentación. Al igual que ocurre en las jaulas de engrase de atún, como se suministra un alimento congelado, una vez que están saciados los animales, el que sobra no puede ser aprovechado porque ya está descongelado y la tendencia habitual es verterlo, si no en la propia jaula, en las inmediaciones. Teniendo en cuenta que en este tipo de cultivos no es habitual la realización de labores de limpieza que recoja la fracción no comestible, si a todos los residuos que genera ya sólo esta fracción se le añade el alimento no consumido, el aporte de N y P es mucho mayor.



En el balance obtenido en el presente trabajo, se ha encontrado una generación de residuos procedentes de la fracción no comestible del 50% para el cangrejo y del 22,5% para la boga. En el caso de jaulas alimentadas con cangrejo, esa fracción no comestible supondría el acumulo de 2564kg de caparazones, que en términos de nitrógeno y fósforo serían 119kg y 37,4kg respectivamente. Este residuo no podría ser aprovechado por otros organismos que estuvieran alrededor de la jaula, si no que se acumularía en el fondo, siendo lentamente degradado. En una producción basada en la boga la fracción no comestible correspondería a 71,6kg de espinas y 468,7kg de cabezas. Las espinas aportarían al medio 1,3kg de N y 1,6kg de P, mientras que las cabezas aportarían 69,4kg de N y 14,9kg de P. Por lo tanto los residuos de la fracción no comestible son la mayor fuente de vertido de N y P al medio.

Con el fin de minimizar los vertidos que generaría el cultivo de pulpo en jaulas, sería importante considerar la necesidad de desarrollar un pienso adecuado para esta especie, ya que se conseguiría eliminar la fracción no comestible que genera el alimento que actualmente se emplea en el engorde de esta especie y además permitiría una optimización de la distribución, disminuyendo el alimento no consumido. Mientras tanto sería recomendable optimizar la gestión del alimento, para reducir la fracción no consumida, siendo deseable, en el caso del pescado, suministrarlo sin cabeza, a pesar de suponer esto un incremento en los gastos de alimentación. También es muy aconsejable que las jaulas de engorde tengan un diseño dirigido a retener la fracción no comestible, para evitar que esta se deposite en el sedimento, y al mismo tiempo que facilite las labores de limpieza.



1. En el pulpo común y en nuestras condiciones experimentales, el coeficiente de digestibilidad aparente del nitrógeno no varía ni con el peso ( para un rango de 700-2500 g) ni con el tipo de alimento (boga/cangrejo) y tiene un valor promedio de  $98,47\% \pm 0,57$ .
2. El coeficiente de digestibilidad aparente del fósforo no varía en función del tipo de alimento, pero se relaciona inversamente y significativamente con el peso, aunque la variación es muy pequeña ( aproximadamente de 4 puntos), y tiene un valor promedio de  $91,83\% \pm 3,08$ .
3. Con dietas de bajo contenido en lípidos (menos del 9,6% s.s) el coeficiente de digestibilidad aparente de la grasa es alto, con un valor promedio de  $95,83\% \pm 2,84$ . No obstante varía significativamente en función del tipo de alimento y del peso, en este último caso de forma inversa.
4. En una planta de engorde en jaulas de pulpo, del alimento ingerido sólo entre el 1,3-1,5% del nitrógeno y el 8,2-8,6% del fósforo es susceptible de acumularse en el fondo marino. Porcentajes de entre el 62-66% del nitrógeno y entre el 64-70% del fósforo se diluyen en la columna de agua.
5. En el caso del alimento suministrado la fracción no comestible, para el pulpo, es la que produce un mayor aporte de N y P a los sedimentos. En el caso de la boga, del N total suministrado la fracción no comestible supone el 54,65% y del P el 77,27%. El 67,67% del N suministrado con el cangrejo será vertido en forma de fracción no comestible, siendo el 86,77% del fósforo.



## 7. Bibliografía

### **A**

Aguado, F. 2001. Impacto Ambiental de los Sistemas Piscícolas Marinos: La Acuicultura en Jaulas Flotantes. Monografías de Química Oceanográfica, Serie 1, vol. 1, 35-83.

Aguado, F., Rueda, F.M., Egea, M.A., Hernández, M.D., Faraco, F., García García, B., 2001. Efecto de la temperatura sobre la supervivencia en el transporte y engorde de *Octopus vulgaris* Cuvier (1797) en el Mediterráneo occidental. In: Fernández-Palacios, H., Izquierdo, M. (Eds), Convergencia entre investigación y Empresa: Un reto para el siglo XXI, Monografías del ICCM nº 4. ICCM, Las Palmas de Gran Canaria, pp:174-179.

Aguado, F., García García, B. 2002. Growth and food intake models in *Octopus vulgaris* Cuvier (1797): influence of body weight, temperature, sex and diet. *Aquaculture International* 10: 361-377.

Aguado, F., García García, B., 2003. Estima del crecimiento y de la producción de desechos mediante un modelo bioenergético en Atún Rojo (*Thunnus thynnus thynnus* Linnaeus, 1758), sometido a engrase intensivo en jaulas flotantes en mar abierto. <http://www.civa2003.org>.

Aguado, F., García García, B., Martínez, F.J. 2004. In vivo total nitrogen and total phosphorous digestibility in Atlantic Bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) under industrially intensive fattening conditions in Southeast Spain Mediterranean coastal waters. *Aquaculture Nutrition*, 10: 413-419.

Alzieu, J. 1989. El agua. Medio de cultivo. En: *Aquaculture*, Vol 1. G. Barnabe (ed.) Technique et Documentation (Lavoisier), Paris, pp:3-27.



AOAC.1996. Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemistry, Association of Official Analytical Chemistry, Washington DC.

Atkinson, J.L., Hilton, J.W., Slinger, S.J. 1984. Evaluation of acid-insoluble ash as an indicator of feed digestibility in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41:1384-1386.

### **B**

Barg, U.C.,1992. Guideliness for the promotion of environmental management of coastal aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper N° 382, 122pp.

Bergheim A., Aabel J.P., Seymour E.A. 1991. Past and present approaches to aquaculture waste management in Norwegian net pen culture operations. En : Nutritional Strategies and Aquacultura Waste. Cowey, C.B. and Cho, C.Y. Eds. Proceedings of the First International Symposium on Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste (NSMAW). University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada.275pp.

Best, E., Wells, M.J. 1983. The control of digestion in Octopus 1: The anticipatory response and the effect of severing the nerves to the gut. Vie Milieu 33: 135-142.

Beveridge, M.C.M.1996. Cage Aquaculture. Fishing News Books, Blackwell, Oxford.

Beveridge, M.C.M, Phillips, M.J., Clarke, R. 1991. A quantitative and qualitative assessment of wastes from aquatic animal production. En: Brune, D.E. y Tomasso, J.R. (eds). Advances in World Aquaculture, Baton Rouge, L.A. World Aquaculture Society, vol.3, pp506-533.

Boletzky, S., Hanlon, R.T., 1983. A review of the laboratory maintenance, rearing and culture of cephalopod molluscs. Memoirs of the National Museum of Victoria 44:147-187.



- Borer, K.T., Lane, C.E. 1971. Oxygen requirements of *Octopus briareus* Robson at different temperatures and oxygen concentrations. *J.Exp.Mar.Biol.Ecol.* 7, 263-269.
- Boucher-Rodoni, R., Mangold, K., 1985. Ammonia excretion during feeding and starvation in *Octopus vulgaris*. *Marine Biology* 103: 193-197.
- Boucher-Rodoni, R., Mangold, K., 1994. Ammonia production in cephalopods, physiological and evolutionary aspects. *Mar.Freshw.Behav.Physiol.* 25:53-60.
- Boyle, P.R., Knobloch, D. 1982. On growth of the octopus, *Eledone cirrhosa*. *J.mar.biol.Ass.U.K.* 62,277-296.
- Bridges, C.R. 1994. Bohr and Root effects in cephalopod hemocyanins. Paradox or pressure in *Sepia officinalis*. *Physiology of Cephalopod mollusc. Lifestyle and performance.* Gordon & Brench Publishers. Switzerland.
- Brix, O., Colosimo, A., Giardina, B. 1994. *Physiology of cephalopods mollusc .Lifestyle and performance.* Gordon & Brench Publishers. Amsterdam.
- Brooks, K., Mahnken, C., Nash, C. 2002. Environmental Effects Associated with Marine Netpen Waste with Emphasis on Salmon Farming in the Pacific Northwest (159-203). In: *Responsible Marine Aquaculture.* Edited by R.R. Stickney and J.P. Mckey. World Aquaculture Society.

### C

- Cagnetta, P., Sublimi, A., 2000. Productive performance en the common octopus (*Octopus vulgaris* C.) when fed on a monodiet. *Seminar on Mediterranean Marine Aquaculture Finfish Species Diversification.* CIHEAM-IAMZ and FAO, Zaragoza, pp. 1-3.
- Calow, P. 1985. Adaptative aspects of energy allocation. En “*Fish Energetics: New Perspectives*”. (Ed. P.Tyer&P. Calow, Eds.), pp.13-31. Croom Helm, London.



- Carro, M.2004. Evaluación de la viabilidad del cultivo de zoeas de cangrejo moro (*Grapsus grapsus*) cangrejo blanco (*Plagusia depressa*), carnada de vieja (*Santo spp*) y camarón (*Palaemon elegans*); como alimento en la fase inicial de cultivo de paralarvas de pulpo (*Octopus vulgaris*). Tesina de master. Las Palmas de Gran Canarias.
- Carss, D.N. 1990. Concentration of wild and escaped fishes immediately adjacent to fish farm cages. *Aquaculture*, 90: 29-40.
- Castro, B.G., DiMarco, F.P., DeRusha, R.H., Lee, P.G.1993. The effects of surimi and pelleted diets on the laboratory survival, growth and feeding rate of the cuttlefish *Sepia officinalis* L. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 170: 241-252.
- Castro, B.G., Lee, P.G. 1994. The effects of semi-purified diets in on growth and condition of *Sepia officinalis* L. (Mollusca: Cephalopoda). *Comparative Biochemistry and Physiology* 109: 1007-1016.
- Cerezo, J.2002. Factores que afectan al consumo de oxígeno, concentraciones críticas y letal de oxígeno, y frecuencia de ventilación en el sargo picudo (*Diplodus puntazzo*), el dentón común (*Dentex dentex*) y el pulpo de roca (*Octopus vulgaris*). Tesis de Doctorado. Universidad de Murcia.
- Cerezo, J., Gómez, E., García García, B. 2003. Resultados preliminares sobre la producción de amoníaco en el pulpo de roca (*Octopus vulgaris* Cuvier, 1979) obtenidos mediante un electrodo de ión selectivo. IX Congreso Nacional de Acuicultura, pp 305-306. Cádiz.
- Cerezo, J., García García, B.2004. Influence of body weight and temperature on post-prandial oxygen consumption of common Octopus (*Octopus vulgaris*). *Aquaculture*, 233: 599-613.



- Cerezo, J., García García, B. 2005. Suitable dissolved oxygen levels for common Octopus (*Octopus vulgaris* Cuvier, 1797) at different weights and temperatures: analysis of respiratory behaviour. *Aquaculture* 244, 303-314.
- Cho, C.Y., Kaushik, S.J. 1990. Nutritional energetics in fish: Energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *World Review of Nutrition and Dietetics*, 61:132-172.
- Cho, C.Y., Hynes, J.D., Wood, K.R. Yoshida H.K. 1991. Quantitation of fish culture waste by biological (nutritional) and chemical (limnological) methods; the development of high nutrient dense (HND) diets. En: *Nutritional Strategies and Aquaculture Waste*, Cowey, C.B., Cho, C.Y. (eds). 37-50. *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Symposium on Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste*, Guelph, Ontario, Canada. Fish Nutritional Research Laboratory, University of Guelph, Canada.
- Cho, C.Y., Bureau, D.P. 1998. Development of bioenergetic models and the Fish-PrFEQ software to estimate production, feeding and waste output in aquaculture. *Aquatic Living Resources*, 11:199-210.
- 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.
- Cortez, T., Gonzalez, A.F., Guerra, A. 1999. Growth of cultured *Octopus mimus* (Cephalopoda, Octopodidae). *Fisheries Research* 40: 81-89.
- Cowey, C.B., Mackie, A.M., Bell, J.G. 1985. *Nutrition and feeding in Fish*. Academic Press, London, 489 pp.



### **D**

Daly, H.I., Peck, L.S.2000. Energy balance and cold adaptation in the octopus *Pareledone charcoti*. Jour. Exp.Mar.Biol. and Ecol.245: 197-214.

Deplano, M., Connes, R., Siaz, J.P, Paris, J. 2989. Intestinal steatosis in the faro-reared sea bass *Dicentrarchus labrax* .Dis. Aquat. Org., 6:121-130.

Dosdat, A. 2001. Environmental impact of aquaculture in the Mediterranean: nutritional and feeding aspects. En: Uriarte, A. y Basurco, B. (eds). Environmental impact assessment of Mediterranean aquaculture farms. Proc.Sem. CIHEAM Net. Tech. Aquac.Med. (TECAM).Zaragoza. Cah.Options Medit., Vol 55: 23-56.

### **E**

Enjuto,C.1998. Diseño e instalación de cámaras de calorimetría indirecta para el estudio del metabolismo energético en peces. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.

Eya, J.C., Lovell, R.T. 1997. Available phosphorous requirements of food-size channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed practical diets in ponds. Aquaculture 154: 283:291.

### **F**

FAO, 2004. The State of the World Fisheries and Aquaculture 2004.

Forsythe, J.W., Hanlon, R.T.1988. Effect of temperature on laboratory growth, reproduction and life span of *Octopus bimaculoides*. Mar.Biol.98: 369-379.

Forsythe, J.W.1993. A working hypothesis of how seasonal temperature change may impact the field growth of young cephalopods. In: Okutani, T., O'Dor, R.K., Kubodera, T. (Eds.), Recent Advances in Fisheries Biology. Tokay Univ. Press, Tokyo, pp:133-143.



### G

- García-García, B.1994. Factores que influyen sobre el consumo de oxígeno, ingesta u crecimiento en la dorada (*Sparua aurata* L.): una aproximación al establecimiento de modelos lineales. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia, 231pp.
- García-García, B., Aguado Giménez, F., 2002. Influence of diet on ongrowing and nutrient utilization in the common octopus (*Octopus vulgaris*). *Aquaculture* 211: 171-182.
- García-García, B., Cerezo, J.2004. Influencia del número de días de ayuno a la semana sobre el crecimiento, el índice de conversión y la supervivencia en el pulpo de roca (*Octopus vulgaris* Cuvier, 1797). *Revista AquaTIC*, nº 21.  
<http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=p&c=177>
- García-García B., Cerezo, J. 2005. Optimal proportions of crabs and fish in diet for common octopus (*Octopus vulgaris*) ongrowing. *Aquaculture* 253, 505-511.
- García-García, B., Rodriguez Gonzalez L.M., García García J. 2005 (b). Cost analysis of octopus ongrowing installation in Galicia. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2: 531-537.
- García-García, B., Gomez, E., Cerezo, J. 2005(c). Modelo de tasa de excreción de amonio en funcion del peso corporal y la tasa de ingestion de proteina en el pulpo (*Octopus vulgaris*). X Congreso Nacional de Acuicultura, pp: 380-381.Gandia
- Gómez, E., Mazón, M.J., Piedecausa, M.A., García García, B. 2005. Efecto de la concentración de amoniaco sobre la tasa de excreción total en el pulpo de roca (*Octopus vulgaris* L): resultados preliminares. X Congreso Nacional de Acuicultura, pp386-387.Gandia
- González-Laxe, F .2000. Los desafíos estratégicos de la piscicultura marina en España. *Productos del Mar* 51: 1-26.



- Gowen, R.J., Bradbury, N.B. 1987. The ecological impact of salmon farming in coastal waters: a review. *Oceanog. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 25:563-575
- Gowen, R.J., Bradbury, N.B., Ervik, A. 1991. Aquaculture and the benthic environment: a review. In: Cowey, C.B., Cho, C.Y. (eds.). *Nutritional Strategies and Aquaculture Waste*. Proc. 1<sup>st</sup> Int. Symp. Nutr. Stra. Manag. Aquac. Waste. Guelph, Ontario, Canada, pp: 187-205.
- Guerra, A. (1978). Sobre la alimentación y el comportamiento alimentario de *Octopus vulgaris*. *Investigación Pesquera* 42: 351-364.
- Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P., Métailler, R. 2004. *Nutrición y alimentación de peces y crustáceos*. Ediciones Mundiprensa. 475pp.
- H**
- Hanlon, R.T., Messenger, J.B. 1996. *Cephalopod Behaviour*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Hernández, M.D., García García, B. 2004. Digestibility of natural foods in common Octopus (*Octopus vulgaris*). *Biotechnologies for Quality*. Aquaculture Europe, Barcelona. 412-413.
- Hevia, M., Rosenthal, H., Gowen, R.J. 1996. Modelling benthic deposition under fish cages. *J.Appl.Ichthyol.* 12: 71-74.
- Houlihan, D.F., Innes, A.J., Weels, M.J., Wells, J. 1982. Oxygen consumption and blood gases of *Octopus vulgaris* in hypoxic conditions. *J.Comp.Physiol.* 148B, 35-40.
- Houlihan, D.F, McMillan, D.N., Agnisola, C., Geniono, I.T., Fott, L. 1990. Protein synthesis and growth in *Octopus vulgaris*. *Mar.Biol.* 106: 251-259.



### I

Iglesias, J., Sánchez, F.J., Otero, J.J. 1997. Primeras experiencias sobre el cultivo integral del pulpo (*Octopus vulgaris*, Cuvier) en el Instituto Español de Oceanografía. In: Costa J., Abellán E., García B., Ortega A., Zamora S.,(eds), VI Congreso Nacional de Acuicultura, Cartagena, Spain. pp: 221-226.

Iglesias, J., Sánchez, F.J., Otero, J.J., Moxica, C. 2000. Cultivo del pulpo (*Octopus vulgaris*, Cuvier): Situación actual, problemas y perspectivas. Cahiers Options Méditerranéennes. Vol 77:313-321.

Iglesias, J., Sánchez, F.J., Otero, J.J., Moxica, C, Fuentes, L., Sánchez F.J. 2004. The completed life cycle of the Octopus (*Octopus vulgaris*, Cuvier) under culture conditions: paralarval rearing using Artemia and zoeae, and first data on juvenile growth up to 8 months of age. Aquaculture International 12 :481-487.

Itami, K., Izawa, Y., Maeda, S., Nakai, K. 1963. Notes on the laboratory culture of Octopus larvae. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries Bulletin 87: 265-272.

### J

JACUMAR. Junta Nacional Asesora de Cultivos Marinos. [www.mapa.es/jacumar](http://www.mapa.es/jacumar).

Jambrina, C., 1996. Problemática medioambiental de la acuicultura marina Propuestas de medidas correctoras. En: Pérez-Ruzafa, J., Lucena, J., Marcos, C., Zamora, S. (eds). Contaminación marina: orígenes, bases ecológicas, evaluación de impactos y medidas correctoras. Universidad de Murcia.

Jobling, M. 1983. Towards an explanation of specific dynamic action (SDA). J.Fish.Biol.23:549-555.

Jobling, M. 1994. Fish Bioenergetics. Chapman and Hall, London.



Joll, L.M.1977. Growth and food intake of *Octopus tetricus* Mollusca: Cephalopoda in aquaria. *Aust.J.mar.Freshw.Res.*28:45-56.

### **K**

Katsanevakis, S., Protopapas, N., Miliou, H., Verriopoulos G.2005. Effect of temperature on specific dynamic action in the common octopus, *Octopus vulgaris* (Cephalopoda). *Marine Biology* 146: 733-738.

Karakassis, I., Hatziyanni, E., Tsapakis, M., Plaiti, W. 1999. Benthic recovery following cessation of fish farming: a series of successes and catastrophes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 198: 205-218.

Karakassis, I.2001. Ecological effects of fish farming in the Mediterranean, in: Environmental impact assessment of Mediterranean aquaculture farms. *Cahiers Option Méditerranéennes*, vol 55. CIHEAM. FAO

Kreuzer, R.,1984. Cephalopods: handling, processing and products. *FAO fish. Tech.Pap.*254 (108pp.).

### **L**

Lall, S.P.1991. Digestibility, metabolism and excretion of dietary phosphorus in fish. En: *Nutritional Strategies And Aquaculture Waste*, Cowey, C.; Cho, C. (eds), 21-36.1<sup>st</sup> International Symposium on Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste.Guelph, Ontario, Canada.

Lee, P.G. 1994. Nutrition of Cephalopods: Fueling the system. En: *Physiology of Cephalopods Molluscs, Lifestyle and Performance Adaptations*. Pörtner, H.O.; O'Dor, R.K. and Macmillan D.L., (Eds.). Gordon and Breach Publishers, Basel, Switzerland, pp 35-51.



- Lee, P.G., Forsythe, J.W., DiMarco, F.P., DeRusha, R.H., Hanlon, R.T. 1991. Initial palatability and growth trials on pelleted diets for cephalopods. *Bulletin of Marine Science* 46:417-422.
- Lemarié, G., Martin, J.L., Dutto, G., Gariduo, C. 1998. Nitrogenous and phosphorous waste production in a flow-through land-base farm of European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquat.Living.Resour.* 11(4): 247-254.
- Luaces, M., Rey, M. 1999. El engorde industrial de pulpo (*Octopus vulgaris*) en aulas: análisis de dos años de cultivo en la Ría de Camariñas (Galicia). *Actas del VII Congreso Nacional de Acuicultura.*, Las Palmas de Gran Canaria, Spain, pp 46.
- Lupatsch, I., Kissil G.W. 1998. Predicting aquaculture waste from gilthead seabream (*Sparus aurata*) culture using a nutritional approach. *Aquat.Living.Resour.* 11(4): 265-268.

### **M**

- Machias, A., Karakassis, I., Labropoulou, M., Somarakis, S., Papadopoulou, K.N., Papaconstantinou, C. 2004. Changes in wild fish assemblages after the establishment of a fish farming zones in an oligotrophic marine ecosystem. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 60: 771-779.
- Madan, J.J., Wells M.J. 1996. Cutaneous respiration in *Octopus vulgaris*. *J.Exp.Biol.* 199, 2477-2483
- Maginnis, L.A., Wells, M.J. 1969. The oxygen consumption of *Octopus cyanea*. *J.Exp.Biol.* 199, 2477-2483.
- Mallekh, L., Boujard, T., Lagardere, JP. 1999. Evaluation of retention and environmental discharge of nitrogen and phosphorous by farmed turbot (*Scophthalmus maximus*). *North American Journal of Aquaculture*, 61:141-145.



- Mangold, K.1983. *Octopus vulgaris*. In Cephalopods Life Cycle Vol. I, Boyle, P.R. (ed.). Academia Press, London, pp. 335-364.
- Mangold, K. 1963. Biologie des cephalopods benthiques et nectoniques de la mer Catalane. Vie Milieu 13, 1-285.
- Mangold, K., Boletzky, S.1973. New data on reproductive biology and growth of *Octopus vulgaris*. Marine Biology 19:7-12.
- Martinez-López, R.2002. Efecto de la dieta y otros factores sobre la excreción de amonio y el aprovechamiento de nitrógeno en dorada ( *S.aurata*) y su incidencia en los cultivos de esta especie. Tesis de Doctorado. Universidad politécnica de Cataluña. <http://www.tdx.cesca.es/TDX-0731102-160857/>
- Mather, J.A., O'Dor, R.K., 1991. Foraging strategies and predation risk shape the natural history of juvenile *Octopus vulgaris*. Bull. Mar.Sci. 49(1/2):256-269.
- Maynard, L.A., Loosli, J.K., Hintz, H.F., Warner, R.G.1969. Animal nutrition, 7th Ed. MacGrawHill Book Company, New Cork, pp.1-602.
- Miliou, H., Fintikaki, M., Kountouris, T., Verriopoulos, H. 2005. Combined effects of temperature and body weight on growth and protein utilization of the common octopus, *Octopus vulgaris*. Aquaculture 249, 245-256.
- Molina Domínguez, L. 2000. Impacto ambiental de un cultivo de jaulas en la bahía de Melenara . Tesis doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Molina, L., Vergara, J.M., Robaina, L. 1997. Retention and discharge of nutrients from a marine cage farm in the Canary Islands. Preliminary results. En Tacon A.G.J. (ed.), Basurco B. (ed.) *Feeding tomorrow's fish* Zaragoza : CIHEAM-IAMZ, 1997. 307 p. (Cahiers Options Méditerranéennes ; v. 22). 291-300.



- Mommsen, T. P., Hochachka, P. W. 1981. Respiratory and enzymatic properties of squid heart mitochondria. *Eur. J. Biochem.* 120, 345-350.
- Morales, A.E., Cardenete, G., Sanz, A., de la Higuera, M.1999. Re-evaluation of crude fibre and acid-insoluble ash as inert markers, alternative to chromic oxide, in digestibility studies with rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 179, 71-79.
- Moxica, C., Linares, F., Otero, J.J., Iglesias, J., Sanchez, F.J. 2002. Cultivo intensivo de paralarvas de pulpo, *Octopus vulgaris* Cuvier, 1979, en tanques de 9m<sup>3</sup>. Boletín del Instituto Español de Oceanografía.18.
- Munday, B., Eleftheriou, A., Kentouri, M., Divanach, P. 1993. The interactions of Aquaculture and Environment: A bibliographical review. Commission of the European Communities, Directorate general of Fisheries, ref XIV/D/3003218-12.02. 92, 534pp.

### **N**

- Navarro, J. C., Villanueva, R. 2000. Lipid and fatty acids composition of early stages of cephalopods: an approach to their requirements. *Aquaculture* 183: 161-177.
- Navarro, J. C., Villanueva, R. 2003. The fatty acid composition of *Octopus vulgaris* paralarvae reared with live and inert food: deviation from their natural fatty acid profile. *Aquaculture* 219:613-631.
- Nixon, M.1966.Changes in body weight and intake of food by *Octopus vulgaris*. *J.Zool.*150: 1-9.
- Nixon, M.1969. The life span of *Octopus vulgaris*, Lamarck. *Proc.malacol.Soc.Lond.* 38: 529-540.

### **O**

- O'dor, R. K.,Wells, M.J.1978.Reproduction versus somatic growth: hormonal control in *Octopus vulgaris*. *J. exp.Biol.*77:15-32



- O'dor, R.K., Mangold K., Boucher-Rodoni R., Wells M.J. and Wells J. 1984. Nutrient Absorption, Storage and Remobilization in *Octopus vulgaris*. *Marine Behaviour and Physiology* 11: 239-258.
- O'dor, R. K., Macalaster, E.G.1987 *Bathypolypus articus*. In *Cephalopod life cycles*, vol I. Species accounts. P. R. Boyle, ed. pp 401-410. London: Academic Press.
- O'dor, R. K., Wells, M.J. 1987. Energy and nutrient flow. Pages 109-134 in P. R. Boyle, ed. *Cephalopod life cycles*, Vol 11: comparative reviews. Academic Press, London.
- Olsen, R.E., Myklebust, R., Kaino, T., RingØ, E., Mayhew, T. M. 2000. The influences of dietary linseed oil and saturated fatty acid on caecal enterocytes in Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.): a quantitative ultrastructural study. *Fish Physiol. Biochem.* 22: 207-216.

### **P**

- Pedrosa-Menabrito, A., Regestein, J.M., 1988. Shelf-life extension of fresh fish-a review: part I. Spoilage of fish. *J. Food Qual.* 11:117-127.
- Person-Le Ruyet, J., Chartois, H., Quemener, L. 1996. Comparative acute ammonia toxicity in marine fish and plasma ammonia response. *Aquaculture* 136: 181-194.
- Person, T.H., Black, K.D. 2001. The environmental impact of marine fish cage culture. In: Black, K.D. (ed.), *Environmental Impacts of Aquaculture*. Sheffield Academic Press, Sheffield, pp.1-31.
- Persson, G. 1991. Eutrophication resulting from salmonid fish culture in fresh and salt waters: Scandinavian experiences. En *Nutritional Strategies and Aquaculture Waste*. Proceedings of the First International Symposium on Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste (NSMAW). Edited by Cowey, C.B. and Cho, C.Y. University of Guelph, Guelph. Ontario, Canada.



- Pillay, T.V.R., 1990. Aquaculture: principles and practices. Oxford, Fishing News Books, Blackwell, 575 p.
- Pitta,P., Karakassis I., Tsapakis,M., Zivanovic S.1999. Natural vs. mariculture induced variability in nutrients and plankton in the eastern Mediterranean. *Hydrobiologia*, 391:181-194.
- Phillips, A.M. 1962. Effect of diet and water temperature on the blood phosphorous of brook trout. *The Progressive Fish Culturist*, 24: 22-25.
- Phillips, M.J., Beveridge, M.C.M., Ross, L.G. 1985. Waste output and environmental effects of rainbow trout culture. *ICES Coun. Meet.Pap.*, 1985/F:21.
- Pörtner, H.O.1994. Coordination of metabolism, acid-base regulation and haemocyanin function in cephalopods. *Mar.Freshw.Behav.Physiol.* 25: 131-149.
- Potts, W.T.W. 1967. Excretion in the molluscs. *Biol.Rev.* 42: 1-41.
- R**
- Rodriguez, C., Carrasco, J.F., 1999. Engorde de pulpo (*Octopus vulgaris*, Cuvier). Resultados de crecimiento, supervivencia y reproducción. Actas del VII Congreso Nacional de Acuicultura., Las Palmas de Gran Canaria, Spain.
- Roy, P.K., Lall, S.P. 2003. Dietary phosphorous requirement of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus L.*). *Aquaculture*, 202: 451-468.
- Rueda, F.M., Soria, J.M., Martinez, F.J., Zamora, S. 1995. Efecto de la alimentación sobre el patrón de consumo de oxígeno de la lubina. Actas del V Congreso Nacional de Acuicultura. Pub. Universitat de Barcelona. Barcelona, pp:623-628.
- Ruohonen, K., Vielma, J., Grove, DJ.1998. Comparison of nutrient losses into the water from rainbow trout culture based on fresh Baltic herring, moist and dry diets. *Aquaculture International*,6: 441-450.



Ruohonen, K., Vielma, J., Grove, DJ.1999. Low-protein supplement increases protein retention and reduces the amounts of nitrogen and phosphorous wasted by rainbow trout fed on low-fat herring. *Aquacult. Nut.*, 5:83-91.

Ruppert, E.E., Barnes, R.D. 1996. *Zoología de los invertebrados*. McGraw-Hill Interamericana Editores, México D.F.

### S

Segawa, S., Hanlon, R.T. 1988. Oxygen Consumption and Ammonia Excretion Rates in *Octopus maya*, *Loligo forbesi* and *Lolliguncula brevis*. *Marine Behaviour Physiology*, 13: 389-400.

Segawa, S., Nomoto, A. 2002. Laboratory growth, feeding, oxygen consumption and ammonia excretion of *Octopus ocellatus*. *Bulletin of Marine Science*, 7:801-813.

Schneider, B.H., Flatt, W.P., 1975. The evaluation of feeds through digestibility experiments. University of Georgia Press. Athens, GA, 168pp.

SFPEC.2002. Sixth Frameworks Programme of the European Community for Research, Technology Development and Demonstration Activities.30pp.

Smale, M.J., Buchan, P.R.1981. Biology of *Octopus vulgaris* off the East coast of South Africa. *Mar.Bio.*65:1-12

Stryer, L.1995. *Biochemistry*.4ªedición. Freeman & co (ed.). Nueva York.1064pp.

Sweetman, J.W. 1992. Larviculture of Mediterranean marine fish species: current status and future trends. *Journal of the World Aquaculture Society* 23: 330-337



### T

Tuñón, E., Parada, A., Caeiro, C., Rey-Méndez, M. 2002. Estudio comparativo basado en la dieta diferenciada para el engorde de pulpo *Octopus vulgaris*, Cuvier 1797; en una explotación industrial. En: Rey-Méndez, M., Fernández Casal, J., Izquierdo Rodríguez, M. (Eds.), IV Foro dos Recursos Mariños e da Acuicultura das Rías Galegas. O Grove, España, pp 255-269.

### V

Villanueva, R. 1994. Decapod crab zoeae as food for rearing cephalopod paralarvae. *Aquaculture* 128:143-152.

Villanueva, R., Nozais, C., Boletzky, S. 1996. Swimming behaviour and food searching in planktonic *Octopus vulgaris* Cuvier from hatching to settlement. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 208: 169-184.

Vita-Barberán R. 2004. Interacciones Ambientales del cultivo de dorada (*Sparus aurata*), lubinas (*Dicentrarchus labrax*) y atún (*Thunnus thynnus*) en jaulas flotantes del mar mediterráneo. Tesis doctoral. Universidad de Murcia.

Vonk, H. J., 1962. Emulgators in the digestive fluids of invertebrates. *Arch. Int. Physiol. Biochim.* 70: 67-85.

### W

Wells, M.J., Clarke, A. 1996. Energetics: the cost of living and reproducing for an individual cephalopod. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 351: 1083-1104.

Wells, M.J., Wells, J. 1959. Hormonal control of sexual maturity in *Octopus*. *J. exp. Biol.* 36: 579-588.

Wells, M.J., Wells, J. 1983. The circulatory response to acute hypoxia in *Octopus*. *J. Exp. Biol.* 104: 59-71.



Wells, M.J., Wells, J. 1985. Ventilation frequencies and stroke volumes in acute hypoxia in *Octopus*. *J.Exp.Biol.*188: 445-448.

Wells, M.J., Wells, J. 1990. Urine production in *Octopus vulgaris*. *J. exp.Biol.*152: 583-585.

Wells, M.J., O'Dor, R.K. Mangold, K. Wells, J.1983. Feeding and metabolic rate in *Octopus*. *Mar.Behav.Physiol.*9: 289-303.

### **Z**

Zamora, S., Cruz-Rubio, V.2001. Requerimiento Energético de los teleósteos. Aulas del Mar. Acuicultura II: Cultivo y alimentación de peces. Universidad de Murcia.



<b>1. Características biológicas de <i>O.vulgaris</i></b> .....	93
1.1 Hábitat.....	93
1.2 Crecimiento .....	93
1.3 Reproducción.....	93
1.4 Alimentación y nutrición.....	94
<b>2. Pesquerías</b> .....	95
<b>3. Factores que afectan al proceso de engorde en cefalópodos</b> .....	96
3.1 Bióticos .....	96
3.1.1 Peso corporal .....	96
3.1.2 Sexo .....	97
3.2 Abióticos.....	98
3.2.1 Temperatura .....	98
3.2.2 Salinidad.....	99
3.2.3 Oxígeno disuelto.....	100
3.2.4 Amoníaco disuelto.....	102
<b>4. Metabolismo energético</b> .....	102
4.1 Balance energético: aspectos generales .....	103
4.2 Balance energético en cefalópodos .....	108
4.2.1 Coste de crecimiento .....	108
4.2.2 Coste de mantenimiento .....	108
4.2.3 SDA.....	110
4.2.4 Gasto energético derivado de la actividad.....	111
4.2.5 Gasto energético derivado de la excreción .....	112



## 1. Características biológicas de *Octopus vulgaris*

### 1.1 Hábitat

*O.vulgaris* es una especie bentónica, de zonas neríticas que se distribuye desde la línea de costa hasta el final de la plataforma continental, en profundidades de 0 a 200m, hallándose en una gran variedad de hábitats, como rocas, arrecifes de coral, y praderas de algas.

Se trata de una especie con cierto carácter territorial, con tendencia a ocupar guaridas y a defenderlas de otros pulpos. Esta necesidad de refugio es importante a la hora de diseñar las instalaciones de cultivo.

### 1.2 Crecimiento

Los cefalópodos en general crecen y maduran rápidamente. En el caso de los pulpos esto puede ser debido a la carencia de un esqueleto complejo, a su alta tasa de alimentación, su eficiencia en la digestión y asimilación de nutrientes y a un desarrollo embrionario directo que no implica metamorfosis. La existencia de una única reproducción en las hembras de *O.vulgaris* enfatiza la necesidad de este rápido desarrollo (Aguado y García, 2003)

Los trabajos realizados en este campo por Mangold (1963) con individuos en cautividad y libres revelan que *Octopus vulgaris* crece igual en ambas circunstancias por lo tanto los estudios desarrollados en laboratorio con individuos alimentados ad libitum proporcionarán información aplicable a especies salvajes.

En cuanto a su tamaño, puede alcanzar hasta un metro de longitud, aunque es complicado encontrar ejemplares de más de 60cm, y pesos de hasta 10kg.

### 1.3 Reproducción

La fecundación en el pulpo común ocurre tras la cópula, en la que el macho introduce los espermátóforos, que contienen los espermatozoides, en el interior del oviducto de la hembra, mediante el hectocotilo (Ruppert y Barnes, 1996), el tercer brazo derecho de los



machos, que se encuentra modificado como órgano copulador. Este se caracteriza por ser más corto y ancho que el resto de los brazos y por finalizar en una especie de cucharilla (lígula), mediante la cual realiza el transporte de los espermatozoides (Moxica *et al.*, 2002). A continuación la hembra realiza la puesta en forma de racimos, que fija en la bóveda de la madriguera. Durante todo el periodo de incubación la hembra deja de alimentarse y dedica toda su energía al cuidado de los huevos, ventilándolos limpiándolos y protegiéndolos. Esto supone en la mayoría de los casos la muerte de la hembra tras la eclosión

El pulpo común presenta dos periodos de reproducción, siendo el primero normalmente en abril/mayo y el segundo en octubre. Las hembras pueden producir entre 120.000 y 400.000 huevos con una longitud aproximada de 2mm. La reproducción se puede extender durante un mes. Las larvas son pelágicas hasta los 60 días, momento en el que adoptan vida bentónica con una talla aproximadamente de 12 mm. Durante su etapa pelágica se alimentan de zooplancton.

#### 1.4 Alimentación y nutrición

Trabajos realizados por Mangold (1983) evidencian la preferencia del pulpo por cangrejos, ignorando bivalvos, gasterópodos y pescado. Sin embargo cuando el cangrejo no se le ofrece, el pulpo puede aceptar lo anteriormente rechazado tras pasar unos días sin comer. Esto también ha sido observado por Guerra (1978) quién describió que la dieta del pulpo se centra en crustáceos, y si esta resulta satisfactoria el pescado proporcionado no acaparaba su atención. Sin embargo en condiciones de ayunas admitían alimentarse con trozos de sardina, pagel y blénidos.

Por otro lado la dieta del pulpo varía notablemente en función del área geográfica considerada. Los pulpos de las costas catalanas consumen un 80% de crustáceos en dieta mientras que los de la zona del Algarve (Portugal) el 80% del alimento consumido son



bivalvos (Hanlon y Messenger, 1996). El biotopo también condiciona la dieta ya que Guerra (1978) encontró en ejemplares capturados en fondos de *Posidonia* (15-20m de profundidad) que los crustáceos tipo *Natantia* representaban el 68% del total de crustáceos ingeridos, mientras que los ejemplares de fondos detríticos (30-80m de profundidad) el 67% de los crustáceos ingeridos eran *Reptantia*.

Según algunos investigadores (Hornell, 1893; Sinel, 1906; en Guerra, 1978) la digestión de *Octopus vulgaris* es externa, los tejidos son digeridos sin que parte de ellos penetren en el buche y estómago. Es decir que los pulpos toman como una especie de caldo fluido que es absorbido sin dificultad (Wilson 1951; en Guerra, 1978). Sin embargo esto no está en consonancia con los hallazgos de Guerra (1978), quién encontró en el tracto digestivo de *Octopus vulgaris* restos de crustáceos, el principal constituyente de su dieta. La estrategia por lo tanto es una combinación, pueden tomar pequeños bocados pero lo normal es que realicen una predigestión del alimento. Esto puede ser debido a que la capacidad para dilatar el esófago no es muy grande al encontrarse rodeado por los ganglios cefálicos y todo ello recubierto a su vez por una cápsula cartilaginosa de relativa consistencia (Guerra, 1978).

## 2. Pesquerías

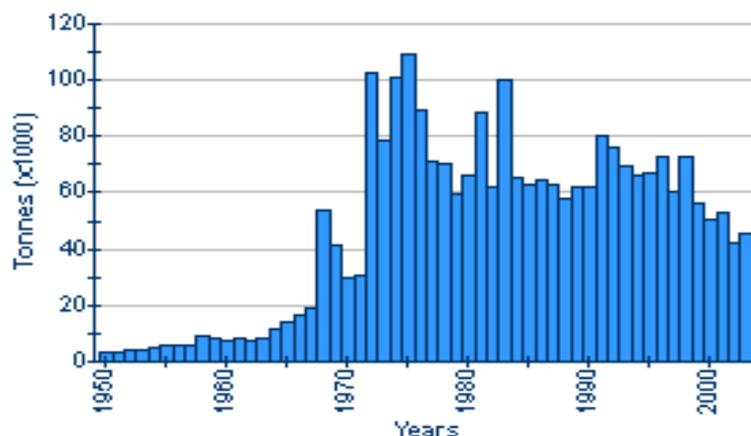
A nivel de explotación pesquera, pocas son las especies de cefalópodos pescadas comercialmente a gran escala. Entre ellas el pulpo ocupa la tercera posición (8,8%) tras el calamar (73%) y la sepia (15%) (Kreuzer, 1984).

Durante la segunda mitad del siglo pasado el pulpo común y otros cefalópodos fueron considerados como recursos pesqueros poco convencionales, y se recomendó su captura como una vía de diversificación del esfuerzo pesquero (Pedrosa-Menabrito y Regenstein, 1988). Sin embargo actualmente estas capturas se encuentran bastante limitadas, no siendo muy abundantes. De hecho la legislación española está limitando y restringiendo la pesca de esta



especie. En algunas comunidades autónomas como la de Galicia el peso mínimo legal de captura es de 750g, siendo de 1000g en región de Murcia, salvo si su destino es la acuicultura, que en tal caso no tiene limitación de peso.

**Figura 1: Captura mundial de pulpo común desde 1950.**



Fuente FAO (2004)

La pesca total de cefalópodos para el año 2002 asciende a 41,619 millones de toneladas.

### 3. Factores que afectan al proceso de engorde en cefalópodos

#### 3.1 Bióticos

##### 3.1.1 Peso corporal

De los trabajos realizados por Nixon ,en 1966, se intuye que el crecimiento del pulpo común tiene dos fases, siendo la edad el agente causal del cambio en la tasa de crecimiento. Mangold y Boletzky (1973) verificaron la existencia de esas dos fases. Estos autores observaron que en etapas bentónicas tempranas (hasta los 200g) el crecimiento es exponencial, seguido de un crecimiento logarítmico con un repentino descenso de la tasa instantánea relativa de crecimiento (G). Esta situación es similar para otras especies como *Octopus mimus*, *Octopus cyanea* y *Octopus bimaculoides*. Determinar el momento en el que el crecimiento pasa de exponencial a logarítmico es difícil. Para *O.mimus* Cortez et



al.(1999) determinaron que este cambio ocurriría cuando los individuos alcanzan entre 350 y 450 g. Esta variación puede ser debida al estado de madurez, ya que observaron que todos los individuos, tanto machos como hembras, han alcanzado su completa madurez sexual. Este cambio en *O. cyanea* (Van Heukelem 1973, 1976; en Wells y Clarke, 1996)) ocurre a pesos inferiores, entre 105 y 175g.

Por lo tanto G decrece con la edad en ambas especies, pero para *O.mimus* la fase exponencial es mas larga que para *O.vulgaris* u *O.cyanea*.

Los cambios de G para *O. bimaculoides* (Forsythe y Hanlon, 1988) ocurren con pesos de 49,7g, mucho menor que para las demás especies, y esto es debido a que esta especie alcanza un tamaño de adulto mucho menor (600g con edades entre 12-14 meses).

### 3.1.2 Sexo

Respecto al crecimiento no existe consenso de opiniones sobre la igualdad entre machos y hembras. Para *O.vulgaris*, Smale y Buchan (1981) encontraron que las hembras presentaban una tasa de crecimiento y de alimentación mayor, mientras que Mangold y Boleztky (1973), Wells y Wells (1959) describieron mayor crecimiento y tasa de alimentación en machos. Forsythe y Hanlon (1988) encontraron un mayor crecimiento en machos de *O.bimaculoides* a 18°C y mayor en hembras a 23°C. García García y Aguado (2002) observaron un mayor crecimiento en machos de *O.vulgaris* que en hembras, sin hallar diferencias estadísticas, mientras que la ingesta de alimento era mayor en hembras. Sin embargo durante la maduración las hembras presentan una reducción de su alimentación lo cual afecta a su crecimiento negativamente.

En el caso de *O.mimus* (Cortez, 1995; en Cortez *et al*, 1999) hembras y machos inmaduros crecen igual, pero el crecimiento es mayor en hembras maduras que en machos. En 1999 Cortez no encontró diferencias de crecimiento entre machos y hembras de *O.mimus*.



Lo que si es claro es que la maduración sexual en las hembras genera necesidades de energía y nutrientes diferentes ya que la formación de los huevos conlleva un mayor coste energético (O'Dor y Wells, 1978). La mayor ingesta de alimento en la hembra es reflejo del inicio de la madurez sexual, periodo en el que el crecimiento somático se frena y en el que las reservas proteicas son movilizadas desde el músculo para la vitelogenesis.

## 3.2 Abióticos

### 3.2.1 Temperatura

El crecimiento viene condicionado por la temperatura. *Bathypolypus articus* una especie que vive a  $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ , crece unos 3,5g por mes, tarda hasta 4 años en alcanzar 70g y completar su ciclo y presenta una tasa de crecimiento de 0,18% diaria (O'Dor y Macalaster, 1987). En el caso del pulpo antártico *Pareledone charcoti* la tasa de crecimiento es muy baja (0,11% diario) ya que se trata de una especie que vive a  $0^{\circ}\text{C}$  (Daly y Peck, 2000).

*O.vulgaris* incrementa la ingesta de alimento y el crecimiento cuando aumenta la temperatura (Mangold, 1983), creciendo en el Mediterráneo mucho más rápido en verano que en invierno (Nixon, 1969). El valor óptimo para esta especie fue determinado por Aguado y García García (2002) estando entre  $17,5^{\circ}\text{C}$  y  $20^{\circ}\text{C}$ , independientemente del peso del animal. A temperaturas de  $14-15^{\circ}\text{C}$  el crecimiento es muy bajo, el óptimo se alcanza entre  $17-18^{\circ}\text{C}$ , a temperaturas superiores a  $22^{\circ}\text{C}$  el crecimiento comienza a disminuir y la mortalidad aumenta (Aguado y García García, 2002).

Por lo tanto el rango óptimo de temperaturas es bastante estrecho y teniendo en cuenta los valores del Mediterráneo ( $14^{\circ}-15^{\circ}$  en invierno,  $24^{\circ}-26^{\circ}$  en verano), el engorde sólo proporcionaría buenos rendimientos entre los meses de octubre-diciembre (de  $20^{\circ}$  a  $15^{\circ}\text{C}$ ) o de marzo a junio ( $15^{\circ}$  a  $20^{\circ}\text{C}$ ).



Por lo tanto el régimen de temperaturas sería una limitación para su cultivo en el Mediterráneo. La temperatura puede generar un efecto adverso en la supervivencia y crecimiento de esta especie (Aguado *et al.*, 2001). En los cefalópodos en general la temperatura juega un papel fundamental en el intercambio de gases a nivel de los pigmentos respiratorios y en el transporte de oxígeno (Brix *et al.*, 1994), de modo que un incremento de la temperatura afectaría a la afinidad de la hemocianina por el oxígeno.

En la mayor parte de las especies poiquilothermas, como peces y moluscos, el crecimiento, la supervivencia, la alimentación, etc., tiene un óptimo de temperatura que puede variar con la edad y/o la talla (Jobling, 1994). Sin embargo en el caso del pulpo común, la temperatura óptima para un óptimo crecimiento no depende de su peso, lo cual se debe posiblemente a un ciclo de vida corto y a su comportamiento más propio de estenotermos (García García y Aguado, 2002).

Desde la perspectiva de la acuicultura, la estabilización de estas variables es muy importante no solo para conseguir un manejo eficaz de la producción sino también para determinar aquellos lugares óptimos para el cultivo de especies concretas.

### 3.2.2 Salinidad

La mayor parte de los cefalópodos son estenohalinos, por lo que muestran una baja tolerancia a concentraciones bajas de salinidad.

*Octopus vulgaris* vive en concentraciones de aproximadamente 35g/l, presentando una tolerancia mínima de 27g/l (Boletzky y Hanlon, 1983).

Ligeras fluctuaciones provocadas por agua dulce (proximidad de ríos, fuertes lluvias) pueden ser letales.



### 3.2.3 Oxígeno disuelto

De todos los gases que se encuentran disueltos en el agua, el oxígeno representa el papel más importante desde el punto de vista biológico, ya que es indispensable para la respiración de los organismos aerobios, además de facilitar la degradación de la materia orgánica y la realización de ciclos bioquímicos (Alzieu, 1998)

La variación de la concentración de oxígeno disuelto en el agua en los sistemas de cultivo depende de la actividad biológica de los organismos en cultivo así como de la actividad de las poblaciones planctónicas que se desarrollan en función de cada sistema, estando potenciadas por la acumulación de nutrientes en el agua.

En el Mediterráneo se dan escasas variaciones de la concentración de oxígeno disuelto a lo largo del año. Mantiene un rango comprendido entre 6 y 8 mg/l, pudiendo bajar en verano a consecuencia de las altas temperaturas o por escaso hidrodinamismo.

Los cefalópodos son capaces de desarrollarse en un amplio rango de concentraciones de oxígeno disuelto ya que presentan mecanismos eficientes de captación de oxígeno del medio y transporte en sangre (Maginnis y Wells, 1969; Borer y Lane, 1971; Wells y Wells, 1983). Además de tener la capacidad de captar oxígeno por la piel (Madan y Wells, 1996), son capaces de incrementar la afinidad por el oxígeno reduciendo el pH sanguíneo en respuesta al descenso de la presión de oxígeno en el medio (Houlihan *et al.*, 1982; Wells y Wells, 1985).

Cuando se encuentran sometidos a condiciones de hipoxia se desencadenan mecanismos fisiológicos para mantener la presión parcial de oxígeno en sangre, aumentan el volumen de ventilación, aumentan la frecuencia de ventilación, aumentan la frecuencia cardíaca y el volumen de latido (Cerezo, 2002).

El pulpo común presenta una gran capacidad de adaptación a las condiciones de hipoxia ya que al igual que los vertebrados presenta un efecto Bohr (afinidad de la hemocianina por O<sub>2</sub>



dependiente del pH), estando este acentuado por un efecto Root (disminución de la capacidad máxima de transporte dependiente del pH) típico de la hemodinámica de los cefalópodos- efecto Bohr exagerado a causa de la hipoxia- (Bridges, 1994)

La gran resistencia de los cefalópodos a la hipoxia puede deberse a la gran afinidad de la hemocianina por el oxígeno, a la presencia de una delgada piel que le permite captar cantidades importantes de oxígeno (Madan y Wells, 1996) así como la posibilidad de excreción de CO<sub>2</sub> (Pörtner, 1994) y un metabolismo anaerobio diferente, que se caracteriza por la mínima liberación de protones al torrente sanguíneo, lo cual protege el pH arterial y la unión de oxígeno (Pörtner, 1994).

En estos cefalópodos la liberación de metabolitos como la *octopina*, al restaurar el pH sanguíneo, hace que la hemocianina mantenga sus niveles de afinidad por el oxígeno (Pörtner, 1994). Por lo tanto *O.vulgaris* intenta mantener constante la presión parcial de O<sub>2</sub> en la sangre, independientemente de la concentración externa. Conforme progresa la hipoxia la frecuencia ventilatoria se hace mayor, disminuyendo ligeramente la cantidad de oxígeno que extraen del agua (Wells y Wells, 1985). Sin embargo *Nautilus pompilius*, *Sepia officinalis* y *Lolliguncula brevis* mantienen constante su frecuencia ventilatoria, incrementando el porcentaje de extracción de oxígeno (Wells y Wells, 1985)

Experiencias realizadas por Cerezo y García García (2005) ha concluido que los niveles de consumo de oxígeno en *O.vulgaris* son más bajos que comparados con otras especies como la dorada (García García, 1994) y la lubina (Rueda et al.,1995), siendo de aproximadamente 220mg O<sub>2</sub> /h. Este consumo está influenciado tanto por la temperatura del agua como por el peso individual. El oxígeno en condiciones normales de cultivo no se considera un factor limitante, la concentración letal de oxígeno es bajísima, entre 0,1-0,8mg/l (1,3-10,9 %de saturación), siendo lo mas apropiado una saturación del 70% (Cerezo y García



García, 2005). El consumo de oxígeno en el pulpo dependerá de la temperatura ambiental y del peso del organismo, existiendo un modelo propuesto por Cerezo y García García (2004) que correlaciona estas variables:

$$\ln\text{CO}_{\text{rutina}} = -0,726 + 0,7021\ln W + 1,876\ln T$$

en la que W= biomasa y T= temperatura

### 3.2.4 Amoníaco disuelto

Los cefalópodos excretan el nitrógeno principalmente en forma de amonio, llegando a producir de 2 a 3 veces más cantidad que los teleósteos.

El problema del amonio es su toxicidad a niveles relativamente bajos por lo que es uno de los parámetros que más condiciona su mantenimiento en cautividad. Este punto se desarrolla más ampliamente en el apartado 1.4 Residuos generados por las granjas de pulpo.

## 4. Metabolismo energético

### 4.1 Balance energético: aspectos generales.

Los animales necesitan conseguir tanta energía en forma de alimento como el total de toda la que disipen y almacenen (Enjuto, 1998). Dichas necesidades energéticas están influenciadas por la selección natural ya que las diferentes especies han desarrollado a lo largo de la evolución diferentes estrategias de obtención de energía (Calow, 1985). Este mismo autor explica que el alimento ingerido ( $A_{\text{ing}}$ ) por el organismo se destina a la producción (P) (la síntesis de tejidos) y como combustible en los procesos metabólicos que regulan esta síntesis y otros trabajos (metabolismo, Mt). El organismo también generará sus residuos (Res).

$$A_{\text{ing}} = Mt + P + \text{Res}$$



El metabolismo total (Mt) engloba diferentes componentes: el metabolismo basal o estándar, también llamada tasa metabólica de descanso ( $M_{st}$ ), el metabolismo de rutina ( $M_{rut}$ ), cuando el organismo realiza su actividad normal sin alimentarse y que incluye los movimientos espontáneos de natación, el metabolismo de alimentación ( $M_{alim}$ ), también conocido como la acción dinámica específica y por último el metabolismo de actividad ( $M_{act}$ ). Entonces:

$$Mt = M_{st} + a M_{rut} + b M_{alim} + c M_{act}$$

donde a, b y c son constantes que expresan la fracción de tiempo que cada tipo de metabolismo utiliza.

La producción (P) se destina al crecimiento de componentes somáticos ( $P_{gr}$ ) y a la reproducción ( $P_{rep}$ ). Y los residuos se realizan en forma de heces (F), excreciones (urea, amonio) y secreciones como el mucus.

Con todos estos términos Calow (1985) propuso la ecuación siguiente:

$$C = (M_{st} + a M_{rut} + b M_{alim} + c M_{act}) + (P_{gr} + P_{rep}) + (F + Exc + Muc)$$

Según esta ecuación una parte de la energía se empleará en el mantenimiento de las funciones corporales (natación, mantenimiento del sistema osmótico y salino) y la otra en el crecimiento y la reproducción. Por último, la energía que no es aprovechada para ninguno de estos procesos será eliminada por distintas vías.

Los animales poiquilothermos y amoniotélicos que viven en el medio acuático tienen menores necesidades energéticas que los terrestres ya que no tienen que gastar energía en mantener su temperatura corporal, convierten el nitrógeno de las proteínas en amoniaco- un proceso energéticamente más económico- y precisan menos energía en mantener la posición

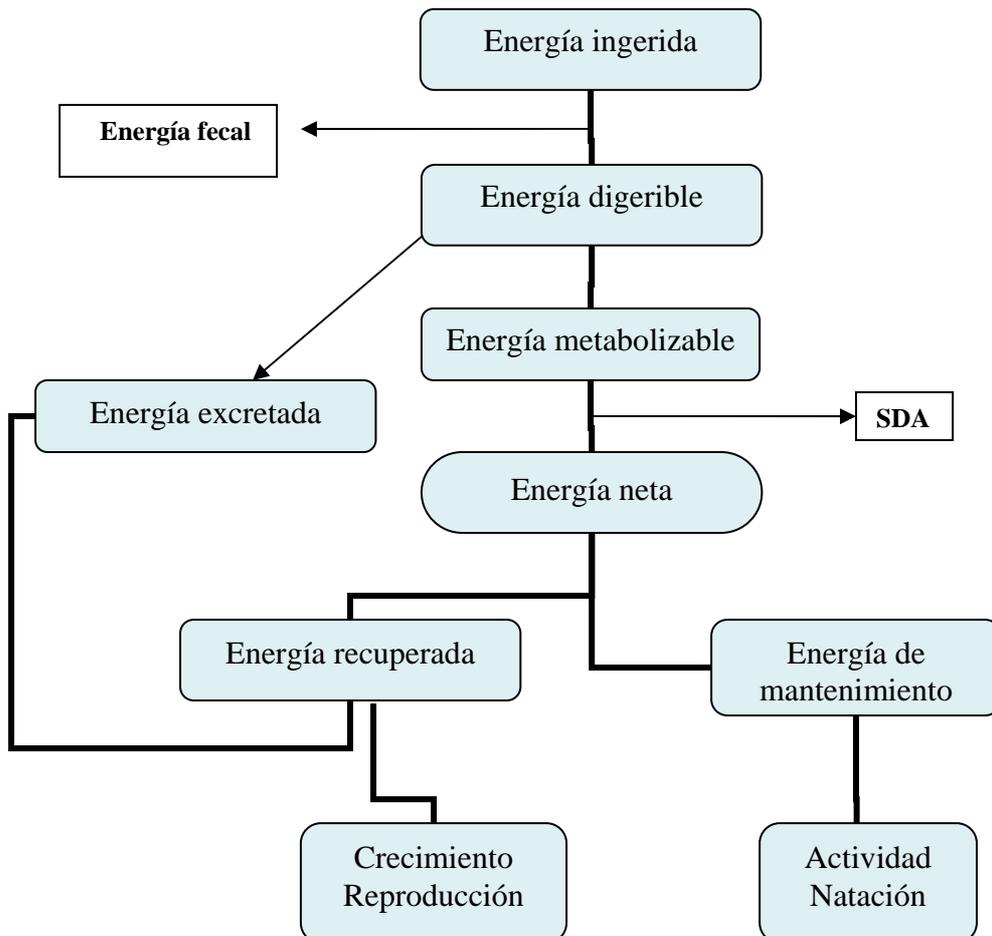


del cuerpo en el agua. Por lo general, la tasa metabólica en reposo es de 10 a 30 veces menor que la de los mamíferos.

Los requerimientos energéticos de cualquier especie están condicionados por un conjunto de factores bióticos y abióticos: la especie, el tamaño del animal, la fase del ciclo biológico, la temperatura del agua, el contenido de oxígeno de la misma, la salinidad, el ejercicio desarrollado, el tipo de alimentación, etc.

En la siguiente figura se ha representado de manera esquemática el destino de la energía obtenida del alimento en los peces.

**Figura 2: Presentación esquemática del destino de la energía dietaria en peces (Adaptado de Guillaume *et al.*, 2004).**



La energía bruta es la energía total que proporciona un alimento y depende exclusivamente del contenido en proteína, lípidos y carbohidratos. Esta energía se mide por medio de la combustión total, existiendo unos valores medios estándares. Se pueden encontrar ligeras variaciones según los autores consultados.

**TABLA I: Energía bruta de los macronutrientes  
(Tomado de Zamora y Cruz-Rubio, 2001)**

<b>Energía bruta(kJ/g)</b>			
<b>Proteína</b>	<b>Lípidos</b>	<b>Carbohidratos</b>	<b>Referencias</b>
23,7	39,5	17,2	Brett y Groves, 1979
23,4	39,8	17,2	Brafield, 1985
23,9	39,8	17,6	Steffens, 1987
18,8	35,6	14,6	Shaiu y Huang, 1989
23,6	38,9	16,7	Miglavs y Jobling, 1989
23,6	39,5	17,2	NCR, 1993

La energía digestible (ED) corresponde a la energía bruta menos la energía bruta de las heces. Esta es la energía que puede ser aprovechada por los organismos como combustible. Esta energía se calcula a partir del análisis de las heces, cuantificando la energía del alimento no asimilada y la que se pierde en forma de residuos de la actividad metabólica. La digestibilidad de la energía de una dieta es resultado de la de sus ingredientes (Guillaume *et al.*, 2004)

**TABLA II: Energía digestible de los macronutrientes  
(Tomado de Zamora y Cruz-Rubio, 2001)**

<b>Energía digestible(kJ/g)</b>			
<b>Proteína</b>	<b>Lípidos</b>	<b>Carbohidratos</b>	<b>Referencias</b>
18,8	33,4	11,7	Shimeno <i>et al.</i> , 1980
17,6	34,5	9,4	Piper <i>et al.</i> , 1982
16,3	33,5	6,7	Steffens, 1987

La energía metabolizable es la ED menos la energía que pierde el pez en forma de excreciones (branquiales o urinarias). Los desechos nitrogenados varían en función de la



fuerza proteica, la cantidad ingerida y del equilibrio energía proteica/energía no proteica (P/E). Cuando la relación P/E del alimento es menor se reduce la excreción nitrogenada, ya que se disminuye el catabolismo de proteínas y se aumenta su retención.

La energía neta de la dieta es la EM menos el gasto energético derivado del consumo y utilización del alimento, la que el animal puede emplear después de digerir, absorber y metabolizar los nutrientes ingeridos y es empleada para los procesos vitales (crecimiento, reproducción y actividad).

El proceso de metabolizar los alimentos conlleva un gasto energético que se denomina acción dinámica específica (SDA). La energía neta también puede considerarse como el nivel mínimo de gasto energético para mantener vivo al individuo (tasa metabólica basal).

La regulación de la ingesta que hace el animal es consecuencia probable de las necesidades energéticas que tenga. En el caso de salmónidos se ha encontrado una correlación entre la temperatura ambiente, la tasa metabólica y de ingesta de alimento, de tal manera que un incremento de la temperatura ambiental deriva en un incremento de estas últimas. Sin embargo en este aspecto es mucho más influyente la composición de la dieta (calidad de sus componentes y balance apropiado de los mismos). Para obtener la máxima eficacia en el aprovechamiento de las calorías del alimento es primordial que éste contenga una adecuada relación de las distintas fuentes calóricas (Jobling, 1994).

Los teleósteos obtienen la mayor parte de su energía a partir de la proteína, otra parte la obtienen de los lípidos, siendo los carbohidratos los componentes peor utilizados. Cuando una dieta tiene un alto contenido proteico, mucha de esta proteína la destinan a los requerimientos energéticos en lugar de utilizarla para el crecimiento. Por otro lado, si en la dieta hay carencia de carbohidratos o lípidos, se aumenta el catabolismo de las proteínas, siendo desviadas de su destino final que es el de regenerar y reemplazar proteínas de los



tejidos (Jobling, 1994). A diferencia de lo que ocurre con los ácidos grasos y la glucosa- que pueden transformarse en productos de reserva-, cuando la cantidad de proteínas aportadas en el alimento es superior a las demandas metabólicas para la síntesis de proteínas y otras biomoléculas, éstas se utilizan como combustible metabólico (Stryer, 1995). Del total de proteínas aportadas por la dieta entre 30 y 35% se destinan a la construcción de nuevo tejido, empleando entre 25 y 30% en la obtención de energía.

De esto se deduce que el nivel energético de la dieta es importante y que la relación P/E es fundamental para un mejor aprovechamiento de la proteína y por consiguiente un abaratamiento de los costes de producción. Proporcionando en la dieta una fuente adicional de energía en forma de nutrientes no nitrogenados se reducirá el uso de la proteína con fines energéticos y permitirá reducir el nivel de proteínas en la dieta sin mermar el crecimiento de los animales.

**TABLA III: Óptima relación proteína/energía en la dieta de varias especies de peces (Tomado de Zamora y Cruz-Rubio, 2001)**

Especie	Tª(°C)	P/E (mg/kJ)	E	Referencias
Lubina	18	32-34	D	Alliot <i>et al.</i> , 1979
Dorada	23-26	22	?	Marais y Kissil, 1979
Carpa	24	21-23	D	Takeuchi <i>et al.</i> , 1979
Pez gato	27	21	D	Garling y Wilson, 1976
Tilapia	28	18	D	Kaushik <i>et al.</i> , 1995
Dentón	24-27	24*	B	Skalli, 2001
Sargo picudo	21-29	22*	B	Hernández <i>et al.</i> , 2001

D: energía digerible; B: energía bruta

\*relación no óptima (mejor crecimiento con menor relación P/E)

Es esperable que la energía requerida la obtengan también a partir de los lípidos de la dieta, ya que el mal uso que realizan de los carbohidratos impide que estos sean su única fuente energética. Además los lípidos son fundamentales como vectores de algunas vitaminas liposolubles, pigmentos y ácidos grasos, así como para mantener la estructura de las membranas celulares (Guillaume *et al.*, 2004).



## 4.2 Balance energético en cefalópodos

### 4.2.1 Coste de crecimiento

Van Heukelem (1976, en Wells y Clark, 1996) evaluó las pérdidas de heces, ventosas y estimó la tasa media de excreción en *O.cyanea*. Se obtuvo que el gasto energético de un pulpo de 1,4kg se puede dividir en: crecimiento (38%), respiración (36%), heces (5,5%), pérdidas de discos de ventosas (5,5%) y otros (16,7%). Por lo tanto el coste de crecimiento en los cefalópodos domina el flujo de energía. Para poder reconstruir el balance energético es necesario evaluar el alimento ingerido. Existen dos formas de evaluar la energía invertida en crecimiento:

- 1.-Medir el crecimiento de tejido y estimar el requerimiento energético a partir del contenido de energía de este tejido y el coste de generarlo.
- 2.-Medir la eficiencia de conversión, que es una medida de la cantidad que crece el cefalópodo por unidad de alimento ingerido.

Las estimas de eficiencia de conversión requieren la medición previamente de la energía requerida por estos organismos para su mantenimiento.

### 4.2.2 Coste de mantenimiento

Las estimas del coste de mantenimiento se pueden realizar midiendo el consumo de  $O_2$  ( $CO$ ) que realizan los animales cuando solamente están manteniendo su masa ( $CO$  de rutina), midiendo la pérdida de peso de un ejemplar en ayuno o bien determinando la tasa de alimentación para la cual el peso corporal permanece sin cambios.

Las estimas de metabolismo basal para *Octopus vulgaris* se han realizado con estos tres tipos de métodos. En el trabajo de O'Dor y Wells (1987) la tasa de consumo de oxígeno es equivalente a una ingesta del 1'3% de la masa corporal al día. Las medidas de pérdida de peso en ayunas obtenidas por Mangold y Boletzky (1973) muestran que depende de la



temperatura, ya que a 10°C se obtuvieron pérdidas del 0,44% de masa corporal, a 15°C del 1,6% y 1,79% a 25°C.

Ellis (1984, en Wells y Clarke 1996) alimentando con cangrejo, en cantidades entre 0,5-30g, a *Octopus vulgaris* mantenido a 24°C, obtuvo que proporcionando una tasa de alimentación del 1,8% de la masa corporal diaria, conseguía mantener un peso constante. Esto es similar al porcentaje de 1-2% diario obtenido para *Octopus tetricus* a 17-24°C (Joll, 1977). En el caso de *Octopus cyanea* un valor de alimentación de 1,8% de la masa corporal diaria es suficiente para mantener peso constante (van Heukelem, 1973 y 1983; en Wells y Clarke, 1996).

**TABLA IV: Tasa de crecimiento, alimentación y conversión para distintas especies de pulpos. (Los animales han pasado ya la fase temprana de crecimiento exponencial pero todavía no han alcanzado la madurez sexual). (Adaptada de Wells y Clarke, 1996)**

Especie	Tª(°C)	Tasa crecimiento relativo (% día)	Peso (g)	Ingesta (%peso corporal/día)	IEA (%)	Alimento	Referencia
Eledone moschata	15	0,8	250	3,4	37	Carcinus	Mangold, 1983
Eledone cirrhosa	15	0,7	250	2	35	Carcinus	Boyle y Knobloch, 1982
Octopus cyanea	24	2,5	500	6	48	cangrejo	van Heukelem, 1973 (en Wells y Clark, 1996)
Octopus maya	25	4,1	300	9,2	40	cangrejo	van Heukelem 1976 (en Wells y Clarck, 1996)
Octopus vulgaris	10	0,9	300	1,6	56	cangrejo	Mangold y Boletzky, 1973
	15	1,7	300	3,3	55	cangrejo	Mangold y Boletzky, 1973
	20	2,9	300	5,4	48	cangrejo	Mangold y Boletzky, 1973
	20	ND	300	3,6	50	cangrejo	Mangold, 1983
	20	ND	350	1,6	25	sardina	Mangold, 1983
	20	ND	350	2,5	20	lapa	Mangold, 1983
	20	ND	350	ND	40	langosta	Smale y Buchan, 1981
	20	ND	ND	ND	24	mejillón	Smale y Buchan, 1981



### 4.2.3 SDA

En todos los animales tras la ingesta del alimento se genera un rápido aumento de la tasa metabólica. Esta inicialmente aumenta hasta alcanzar un valor máximo para luego descender gradualmente hasta la tasa pre-alimentación, lo cual se debe a la acción dinámica específica o SDA. El SDA compromete un conjunto de gastos metabólicos tales como los mecánicos (movimiento de la comida a través del digestivo), costes de digestión (síntesis y excreción de enzimas, absorción del alimento digerido) y costes de síntesis, que incluyen procesos anabólicos y catabólicos (Jobling, 1983).

En cefalópodos, al ser animales que se alimentan de manera intermitente, la tasa metabólica vuelve a los niveles previos a la alimentación antes de la siguiente ingesta (Wells y Clark, 1996). Sin embargo en animales que se deben alimentar continuamente, como los suspensívoros, se genera un incremento continuado de la tasa metabólica. Los cefalópodos a pesar de ser carnívoros consumen gran cantidad de presas y muestran un incremento en la tasa metabólica basal cuando se alimentan de manera regular (Wells *et al.*, 1983).

Los valores de SDA en *O.vulgaris* fueron calculados por O'Dor y Wells (1987). A partir del coste de oxígeno que supone la ingesta de un cangrejo ( $8,9\text{ml O}_2 \text{ g}^{-1}$ , según Wells, 1983) y asumiendo que el contenido energético del mismo es de  $4,19\text{KJ g}^{-1}$ , este coste se traduce en  $178 \text{ J g}^{-1}$ . Por lo tanto el coste inmediato supone el 4,3% de la energía contenida en el alimento ingerido. Pero estas estimas a corto plazo resultan ser pequeñas.

Cuando Houlihan y colaboradores (1990) incorporaron al coste total la tasa metabólica a largo plazo de un ejemplar con crecimiento diario del 6%, el coste alcanzó el 18% del valor energético del alimento ingerido.

La tasa metabólica puede aumentar o disminuir dependiendo de la cantidad de alimento ingerido (Best y Wells, 1983), de tal forma que puede doblarse o triplicarse con una



alimentación regular o disminuir con el ayuno. Por lo tanto el alimento tiene dos efectos en la tasa metabólica:

- A corto plazo: un incremento en el CO inmediato tras la alimentación.
- A largo plazo: incrementa la tasa metabólica habitual en reposo pero de manera reversible.

Como anteriormente se ha planteado, la temperatura influye en el crecimiento y en la ingesta de alimento de esta especie. Sin embargo no influye en el valor de SDA. Katsanevakis *et al.* (2005) evaluaron el consumo de oxígeno en *O. vulgaris* a dos temperaturas, 20°C y 28°C, encontrando que si bien el valor de SDA tras alimentarse era superior a 20° que a 28° (64% y 42% respectivamente), el valor absoluto no difiere entre ambas temperaturas, indicando que el coste de alimentación es el mismo para ambas.

Cerezo y García García (2004) estimaron el consumo de oxígeno durante el periodo SDA en el pulpo común y obtuvieron una ecuación para diferentes pesos (W) y temperaturas (T):  $\text{LnMO}_{2\text{SDA}} = 0,045 + 0,7131\text{LnW} + 1,7691\text{LnT}$ .

La respuesta de SDA en *O. vulgaris* es mucho más rápida que en especies polares debido a las bajas temperaturas y también relativamente más rápido en relación a otras especies que viven bajo la misma temperatura. Su rápida respuesta es un indicador de su habilidad para digerir y asimilar el alimento rápida y eficazmente (Katsanevakis *et al.*, 2005).

#### 4.2.4 Gasto energético derivado de la actividad.

*Octopus vulgaris* se desplaza con ayuda de los brazos y ocasionalmente nada cortas distancias. El coste de desplazamiento fue analizado por Wells *et al* (1983). Los datos reflejan que un ejemplar de 500g puede andar durante una hora o más en una rueda de ejercicio a una velocidad de 0,34 km h<sup>-1</sup>, siendo el coste de oxígeno para este de 252±8ml O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> km<sup>-1</sup> a



22°C. Esto le genera un aumento de la tasa metabólica de 2,4 sobre el valor en reposo.

Mather y O'Dor (1991) realizaron un seguimiento de ejemplares de pulpos en su hábitat natural y establecieron que estos son activos el 11% de 24 horas. Estos ejemplares tenían un peso de 200g y crecieron con una tasa de 1,4% del peso corporal /día. Según estos autores estos mismos pulpos podrían haber mantenido su masa empleando el 6% del día o haber alcanzado una tasa del 2% invirtiendo el 13% del tiempo en cazar.

Trasladando estos resultados a un ejemplar de 500g y a 22°C, el coste de actividad necesario para mantener la masa corporal y una tasa de crecimiento del 2% diario sería de 0,7 y 1,6kJ d<sup>-1</sup> respectivamente.

#### 4.2.5 Gasto energético derivado de la excreción

Los cefalópodos son amoniotélicos, por lo tanto en el caso de los pulpos la excreción de las dos terceras partes del nitrógeno se hace en forma de NH<sub>3</sub>, principalmente a través de las branquias. El resto se elimina en forma de urea (Boucher-Rodoni y Mangold, 1994). La producción de amonio en los cefalópodos es de 2 a 3 veces mayor que en peces con el mismo peso, lo cual explica la dificultad para su mantenimiento en cautividad con una buena calidad del agua (Yang *et al.*, 1989, en Lee, 1994).

Wells y Wells (1990) realizaron mediciones de la producción de orina en *Octopus vulgaris* encontrando que la pérdida diaria de energía por esta actividad alcanzaba 1,44 kJ kg<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup> para individuos inmaduros o en ayunas, y de 3,06 kJ kg<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup> en hembras maduras.

El pulpo común se caracteriza por tener una relación O/N (consumo de oxígeno/ excreción de amonio) baja, consecuencia de su metabolismo proteico predominante. Un incremento de ese ratio sugiere que *O.vulgaris* está usando otras reservas como lípidos o carbohidratos, bajo condiciones de ayuno o estrés (O'Dor, 1984; Boucher-Rodoni y Mangold, 1985).



**TABLA V: Balance energético preliminar para un ejemplar de 500g de *O.vulgaris* a 22°C. (El contenido energético corporal se supone de 3,06 kJ/g de masa fresco). (Adaptado de Wells, 1996)**

	<u>Ayuno</u>		Mantenimiento		Crecimiento		Madurez	
	$\text{kJ d}^{-1}$	mW	$\text{kJ d}^{-1}$	mW	$\text{kJ d}^{-1}$	mW	$\text{kJ d}^{-1}$	mW
Metabolismo de mantenimiento	12,7	147,2	17,3	200,2	17,3	200,2	17,3	200
Coste de Actividad	0,7	8,1	0,7	8,1	2,5	28,9		
Contenido energético de nuevo tejido					30,4	351,7		
Costes de síntesis/degradación	0,9	10,4	1,2	13,9	17,4	20,3	19,6	226,8
Pérdidas excreción	0,5	6,1	0,7	8,1	1,4	16,2	1,5	17,4
Pérdidas fecales y ventosas	2,2	25,7	3,1	35,9	6,2	71,7	22	25,5
Requerimiento energético total	17	196,7	23	266,2	77,6	897,8	40,6	469,7
Eficiencia de absorción (%)			93%		93%			
Ingestión	0		24,7	285,8	83,4	965,4	40,6	469,7
Eficiencia de conversión neta	0	sin alimento	0	sin crecimiento	46,0%		0	sin alimento
Eficiencia de conversión bruta	0	sin alimento	0	sin crecimiento	36,5%		0	sin alimento

