

## 3. El agua como medio de cultivo

### 3.1. Características físico-químicas

El agua, elemento líquido de la naturaleza, líquido de los seres vivos, tan universalmente repartido y por tanto tan frecuente, no es, ni mucho menos, un líquido simple, sino que presenta determinadas características cuyo conocimiento y estudio es imprescindible para cualquier desarrollo acuícola, ya que sin duda es la base fundamental de dicha actividad. La utilización del agua, tanto desde un punto de vista cualitativo como cuantitativo, es una de las preocupaciones constantes de la acuicultura, ya que condiciona a la vez la elección de los enclaves de cultivo y la de las especies que puedan ser objeto de explotación. Los cultivos, tanto si son de naturaleza extensiva como intensiva, van a desarrollarse en medios muy heterogéneos que se caracterizarán por una fuerte variabilidad natural. De esta forma, la productividad acuícola está estrechamente ligada tanto a la calidad hidrobiológica del medio, definida por sus parámetros físicos, químicos y biológicos que influyen en la reproducción y crecimiento de las especies, como a determinados factores tales como microorganismos y tóxicos diversos que afectan a la salubridad de las especies, sus posibles patogenicias y en consecuencia al desencadenamiento de las enfermedades.

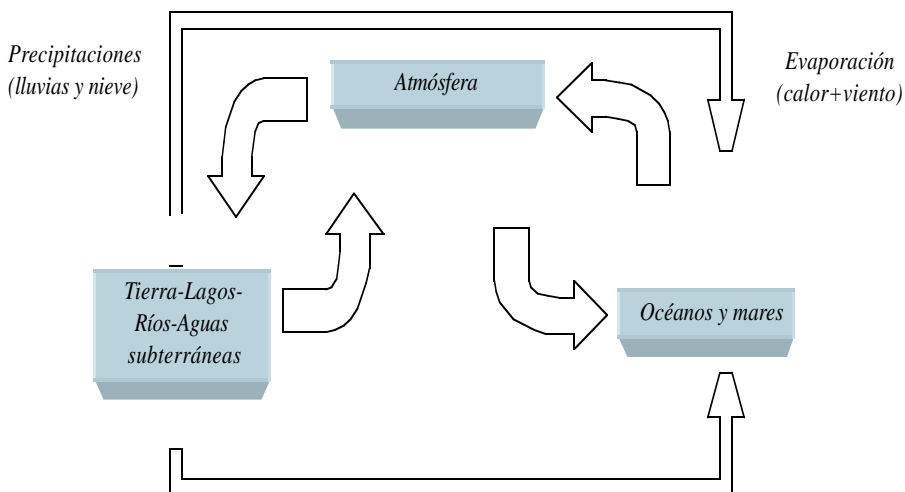
Las características de las aguas se establecen a partir de los parámetros que describen el medio inerte según sus diversos componentes, temperatura, densidad, color, transparencia, materias en suspensión, salinidad, composición iónica, gases disueltos, sales y moléculas, materia orgánica disuelta particulada, componentes fito y zooplanctónicos, etc. Por tanto, dentro de las características del estudio del agua, nos vamos a referir, fundamentalmente, a los parámetros físico-químicos, partiendo del hecho de que si bien los analizaremos por separado, se trata de factores que no van a evolucionar de forma totalmente independiente ya que están sometidos a leyes de equilibrio y fenómenos de naturaleza química que pueden presentar aspectos y repercusiones en su evolución más o menos complejas.

Químicamente hablando, el agua tiene una molécula muy sencilla y por lo tanto no es desde este punto de vista del que su estudio nos va a presentar dificultades, ni será bajo este aspecto por el que podamos explicarnos las innumerables singularidades que encontraremos al estudiar sus propiedades físicas y químicas, las cuales van a tener un papel importante en todos los parámetros que afectan al desarrollo de las especies que son objeto de un cultivo.

Las propiedades físico-químicas del agua de mar son muy diferentes de las que posee el agua pura, por una parte, el contenido salino de las aguas naturales depende de la composición del océano primitivo, de los ulteriores aportes procedentes de la parcial disolución y lavado de la corteza terrestre sólida, de los equilibrios entre la atmósfera, el agua y el suelo, desarrollados a lo largo del ciclo hidro-

lógico (Fig. 8) y de la separación de componentes sólidos en forma de precipitados o sedimentos. Además de lo anterior, la lluvia mientras cae ya incorpora sales, como por ejemplo cloruro sódico, del que se encuentran diminutos cristales suspendidos en el aire, especialmente en las proximidades de las costas. Las aguas dulces o continentales son heterogéneas, en ellas se encuentran prácticamente todos los elementos químicos disueltos en una u otra forma, aunque muchos de ellos en proporciones mínimas teniendo la mayoría de dichas aguas una concentración salina total muy baja. Por lo tanto, las características de las aguas serán locales, más o menos puras o con carga variable de sales solubles según sea el substrato geológico (Margaleff, 1974).

Figura 8  
**Ciclo general del agua**



Respecto a las aguas oceánicas, éstas están muy mezcladas y su residuo salino tiene una composición iónica estable y casi uniforme, de manera que las únicas diferencias notables de un lugar a otro se hallan en la concentración total. Se puede decir, de forma general, que el agua de mar se caracteriza por el cloruro sódico y el agua continental por el bicarbonato cálcico (Tablas 2 y 3).

Casi todas las características del agua, físicas y químicas, dependen de la cantidad total de sales en disolución, de tal forma que se puede hacer una distinción entre dos grupos de elementos químicos. En los del primer grupo la proporción que guardan unos con otros varía poco, éstos son los elementos que se califican de proporcionalidad constante o conservativos, cuya importancia puede ser

Tabla 2

**Principales componentes del agua de mar**  
(adaptado de Quirós y Alvaríño, 1997)

Componente	Gramos/litro
Sodio (Na) .....	10,77
Magnesio (Mg) .....	1,3
Calcio (Ca) .....	0,41
Potasio (K) .....	0,39
Estroncio (Sr) .....	0,01
Sulfato (SO <sub>4</sub> ) .....	2,71
Bromo (Br) .....	0,06
Cloro (Cl) .....	19,37
Carbono (C) .....	0,02

Tabla 3

**Composición media aproximada de un medio fluvial referido a materia disuelta total**  
(adaptado de Quirós y Alvaríño, 1997)

Componente	Gramos/litro
Calcio (Ca) .....	14,2
Magnesio (Mg) .....	3,7
Sodio (Na) .....	5,7
Potasio (K) .....	1,8
Cloro (Cl) .....	6,5
Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) .....	9,7
NCO <sub>3</sub> .....	55,2
SIO <sub>2</sub> .....	11,7

muy grande para explicar adaptaciones muy generalizadas en los organismos y la colonización por ellos de áreas extensas; en este grupo se encuentran, por ejemplo, el cloro y el sodio.

Un segundo grupo es el que está formado por elementos designados como de proporcionalidad variable, cuyas concentraciones en las aguas naturales cambian de un lugar a otro y con el paso del tiempo, en parte por la acción de los organismos. A este grupo pertenecen elementos como el fósforo y el nitrógeno, que tienen una importancia básica en la vida de los seres acuáticos y, por tanto, el conocimiento de su concentración sirve para explicar la distribución de las distintas especies así como sus ciclos anuales. En lo que se refiere a estos elementos, es imposible estudiar su ciclo en el agua sin tener en cuenta las actividades de los seres vivos.

Las características que van a tener incidencia en el desarrollo de las especies objeto de cultivo son fundamentalmente las siguientes:

1. Calor específico.
2. Densidad.
3. Temperatura.
4. Sales disueltas o salinidad.
5. Transparencia y turbidez.
6. Gases disueltos.
7. pH.

1. *Calor específico*: Este parámetro desempeña un importante papel en la lucha contra la termogénesis. Para elevar en un grado la temperatura de un gramo de agua se necesita una caloría (entre 15 y 16 °C), esta cantidad de calor se llama calor específico del agua. En realidad, tal como se puede observar en la tabla 4, el calor específico del agua varía con la temperatura, siendo mínimo este valor a 35 °C, hecho excepcional si tenemos en cuenta que, para la mayor parte de los líquidos el calor específico aumenta regularmente con la temperatura. El agua del mar presenta un calor específico muy elevado, esta propiedad hace que las masas de agua actúen como reguladoras del clima de las áreas costeras y también que los organismos marinos no tengan que soportar grandes cambios de temperatura al pasar del día a la noche o del verano al invierno.

Tabla 4

**Calor específico del agua a diferentes temperaturas y a la presión constante de un átomo** (adaptado de Benezech, 1973)

Temperatura	Calor específico	Temperatura	Calor específico
0	1,008	16	1,0002
1	1,0072	17	0,9999
2	1,0064	18	0,9998
3	1,0056	19	0,9996
4	1,0049	20	0,9995
5	1,0043	25	0,9989
10	1,0019	30	0,9987
15	1,0004	35	0,9986

2. *Densidad*: La densidad constituye también un factor determinante del flujo de calor en el agua. Según Díaz Pineda (1985), el gradiente de densidad implicado en el flujo de calor puede interrumpirse y provocar cambios bruscos —*picnoclinas*— de las características del agua con la profundidad, que permiten conocer las condiciones ambientales existentes en el medio. Estas condiciones pueden variar en el tiempo y en el espacio y son determinantes de la estructura y funcionamiento de todo el ecosistema. El calentamiento del agua puede quedar limitado a las capas superiores, provocándose un gradiente máximo a finales del verano cuando el agua se dispone en estratos muy marcados por su distinta temperatura. La discontinuidad tér-

mica —*termoclina*— caracteriza una caída ya suave de la temperatura del agua hasta el fondo. Esta estratificación, a veces muy acusada desde la termoclina hasta la superficie, impide la renovación vertical de las aguas en determinados momentos del año, particularmente en lagos y embalses.

En las aguas marinas, la densidad depende de factores tales como son la temperatura, la salinidad y la presión, constituyendo un parámetro de gran interés para conocer la estratificación, distribuciones de masas de agua y corrientes marinas, por otra parte, al depender de la salinidad y de la temperatura, la densidad de una muestra de agua de mar permite también caracterizar a un agua determinada en el lugar donde se ha recogido la muestra. Como el agua de mar contiene gran proporción de sales disueltas, su densidad es siempre superior a la del agua dulce. En lagos y embalses las variaciones de densidad se explican prácticamente en función de la temperatura y sirven para conocer la mezcla y reciclado del agua a lo largo del año. Una de las manifestaciones de los cambios de densidad locales está representada por el movimiento vertical de las aguas.

3. *Temperatura*: Se puede considerar que la temperatura es uno de los factores ambientales que mayor incidencia tienen dentro del desarrollo de todos los organismos acuáticos al depender de la misma, así como de sus variaciones, parámetros tan fundamentales como pueden ser la oxigenación de las aguas y la productividad primaria, fuente de alimento tanto para las especies cultivadas como para aquellas que se desarrollan en el medio natural.

Los estudios sobre la temperatura, a efectos del desarrollo acuícola que nos ocupa, se basan fundamentalmente en sus variaciones, al considerar que de estas dependerán el funcionamiento de los desarrollos fisiológicos de los organismos, partiendo del hecho de que éstos tienen unas temperaturas límites. Al estudiar la distribución de los valores de la temperatura de las aguas, se ha observado que las aguas en la superficie están más directamente influenciadas que las aguas profundas por las variaciones de las temperaturas atmosféricas, si bien se constata generalmente una estratificación de la superficie al fondo. En lo que respecta a las aguas del mar, este esquema de estratificación se puede modificar localmente, por estar sometidas a diversos factores variables en función de las latitudes, los aportes oceánicos y continentales, los ritmos de mareas, las corrientes, las diferentes épocas del año, etc. Estas correlaciones, cuando existen, son útiles para estimar el riesgo de estratificación de masas de agua a causa de un calentamiento más rápido de las aguas superficiales.

Por otra parte, en ciertos medios cerrados, o aislados temporalmente en su comunicación con el litoral (depósitos, marismas cerradas, etc.), la temperatura del agua sigue la gráfica de la temperatura del aire, presentando máximas diurnas que alternan con mínimas nocturnas. Esta correlación entre las temperaturas del aire y del agua, se da generalmente también a nivel de las aguas litorales, lo que permite a los profesionales utilizar las temperaturas atmosféricas para estimar al menos globalmente la evolución de las temperaturas del agua.

La mayoría de especies objeto de un cultivo toleran variaciones estacionales de temperatura de gran amplitud, no obstante, hay que tener muy en cuenta que, aunque las especies euritermas sean capaces de sobrevivir bajo condiciones extremas, su actividad fisiológica se verá afectada o perturbada cuando la temperatura del medio en el que se desarrolla sea demasiado elevada, demasiado baja, o bien cuando se den fluctuaciones fuertes en un período corto de tiempo. Diversos autores (Barnabe, 1991) han establecido ciertos valores sobre lo que han llamado la sensibilidad térmica, comprobando, que en general las temperaturas máximas, así como las intensidades y duración de los shocks térmicos tolerados, difieren para cada especie considerada en función de su adaptación fisiológica.

Entre los efectos más directos sobre los organismos tenemos que referirnos a aspectos tan vitales como son la reproducción, la supervivencia y crecimiento de las larvas y juveniles, así como a la nutrición, la patología, etc. Sin embargo, todos ellos van a depender en parte de la especie sobre la que queramos trabajar, así, en unas especies serán los cambios o condiciones más determinantes que en otras, quedando sujetos asimismo a los factores del medio y a las técnicas de desarrollo, es decir, del control que exteriormente se pueda efectuar sobre el parámetro, lo que implica que será diferente el planteamiento que deba de hacerse ante un cultivo en medio abierto, por ejemplo el engorde de moluscos, o ante un cultivo o técnica determinada, por ejemplo la maduración de peces o crustáceos regida y controlada por fotoperíodos.

La temperatura es uno de los principales factores que determinan el ritmo sexual de los animales, siendo admitido que existen temperaturas mínimas favorables para el inicio y el desarrollo normal de la gametogénesis, así como la temperatura mínima crítica debajo de la cual las emisiones de los productos sexuales no pueden producirse, así mismo, la emisión de los productos sexuales cuando las especies han alcanzado el estado de madurez está determinada por la variación de la temperatura, cuyo cambio brusco tiene en general como consecuencia la emisión de los gametos. Por otra parte, la temperatura, asociada a otros parámetros físico-químicos como la salinidad, desempeña un papel determinante en el desarrollo de los ciclos sexuales, no sólo respecto a la gametogénesis sino también a la supervivencia de los estados larvarios.

La influencia de este parámetro sobre la nutrición está explicada por el hecho de que el aumento de la temperatura del agua conlleva a un incremento del metabolismo de los organismos acuáticos y, por consiguiente, de sus necesidades energéticas. Estas últimas se satisfacen o bien mediante la materia orgánica particulada presente en el medio natural o, en el caso de los cultivos en medio controlado, por aportes nutricionales predeterminados cualitativa y cuantitativamente.

La materia orgánica particulada y más concretamente la constituida por el fitoplancton, alimento preferente de los moluscos filtradores, no es constante a lo largo del año y para desarrollarse requiere condiciones climáticas favorables, entre las cuales la temperatura del agua juega un papel determinante. El caldeoamiento primaveral de las aguas costeras, enriquecidas por los aportes fluviales invernales, es ori-

gen de proliferaciones fitoplanctónicas. De la importancia de la biomasa fitoplanctónica creada por la actividad fotosintética depende el que se cubran o no los requerimientos energéticos necesarios para el crecimiento y reproducción de numerosas especies. Asimismo, las alteraciones de la temperatura en un medio de cultivo pueden desencadenar la proliferación de microorganismos que provocan desequilibrios en la flora bacteriana, favoreciendo alteraciones en los metabolismos proteico, glucídico o lipídico, lo que lleva a aumentar la sensibilidad a los agentes patógenos, etc. (Polanco, 1991b).

4. *Sales disueltas o salinidad*: Otra de las características importantes del agua es su capacidad de disolución de compuestos, siendo esta propiedad la responsable de que las aguas marinas-oceánicas sean saladas. Entre las sales disueltas ciertas sustancias aparecen con fuertes concentraciones como es el caso de los iones Cloro (Cl) y sodio (Na). De este modo se utilizan habitualmente los términos de salinidad, de clorinidad o de clorosidad para expresar el contenido en sales del agua de mar, si bien, el término más corrientemente utilizado es el de salinidad (S ‰), que se define como el peso en gramos, bajo vacío, de los elementos sólidos obtenidos a partir de 1 kg de agua de mar después de evaporación y calentamiento a 480 °C hasta peso constante (se expresa por kilogramo y no por litro de agua de mar debido a que el volumen varía con la temperatura). En la práctica, la salinidad se define a partir de la clorinidad por la ecuación de Knudsen:

$$S \text{ ‰} = 0,030 + 1,805 \text{ Cl ‰}$$

Esta relación está establecida empíricamente a partir de numerosas experiencias (Maurin, 1974), si bien es preciso tener en cuenta que cuando se esté en presencia de masas de agua con regímenes de salinidad muy fluctuantes (aguas salobres), la fórmula de Knudsen es únicamente aproximada.

Se caracteriza la salinidad media de las aguas oceánicas por tener unos valores próximos al 35‰. En las zonas litorales la influencia de los aportes fluviales es perceptible a una distancia más o menos grande de las desembocaduras en función del aporte acuático, la velocidad de las corrientes, etc. pero es en los estuarios en los que se registran más y mayores variaciones. Las fuertes bajadas de salinidad se corresponden con los períodos de crecidas que provocan una estratificación en capas más o menos densas; la salinidad decrece del fondo hacia la superficie y de la parte baja de la corriente dulce hacia la parte alta. En las épocas de estiaje las salinidades tienden a ser parecidas en todos los puntos del estuario, si bien a veces con valores más fuertes en lo alto que en lo bajo, por el efecto de la evaporación. Entre estas fases extremas las salinidades disminuyen progresivamente en otoño bajo la influencia del aumento de la pluviosidad y suben en primavera bajo la acción de la evaporación. El ritmo de la marea y su coeficiente intervienen por otra parte en la distribución de las aguas dulces y saladas. Los valores mínimos sobrevienen al acercamiento de la baja mar y los valores máximos al de la pleamar. La amplitud de las variaciones puede ser considerable. En las zonas costeras y estuarias la salinidad fluctúa ampliamente en

función de las oscilaciones de la marea y de los aportes de agua dulce, variables según el caudal de los ríos.

Al igual que decíamos al referirnos a la temperatura, el análisis de un factor en solitario puede conducir a conclusiones ecológicas sin valor, por lo que es necesario evaluar la influencia de los diversos parámetros y sus interacciones, en este sentido, se sabe que la influencia de la salinidad varía según la temperatura e inversamente. Otro parámetro que siempre se ha considerado que tenía un efecto directo sobre la evolución de la salinidad ha sido el de las precipitaciones, sin embargo, contrariamente a lo que se pudiera esperar, la correlación entre lluvias y salinidades está lejos de ser estrecha, si bien suele coincidir que en los períodos en los cuales las salinidades son relativamente elevadas, las precipitaciones son más débiles e, inversamente, esto no es más que una correspondencia global. En estudios más detallados, se ha comprobado que las precipitaciones son esencialmente fenómenos discontinuos y relativamente breves, mientras que las variaciones de salinidad son mucho más estables en el tiempo. Una relación neta entre los dos factores no aparece más que ante un fenómeno puntual de fuertes precipitaciones, las cuales pueden estar seguidas por una caída de la salinidad, pero en tales casos, la importancia de la caída no es proporcional a la abundancia de las precipitaciones (Polanco, 1991b).

Los efectos de la salinidad sobre los organismos están en función del grupo de especies a considerar. Así, si se trata de moluscos, a pesar de que estos son eurihalinos y que además posean unos mecanismos de osmorregulación interna, en general las variaciones de este factor perturban el comportamiento, el crecimiento y el engorde de estas especies, entre otras causas debido al hecho de que durante los descensos de la salinidad, cierran sus valvas hasta que se alcanza un nivel apropiado y en consecuencia, durante el tiempo que permanecen cerradas las valvas hay un cese de su actividad alimentaria. Por otra parte, si se trata de la transferencia de un medio a otro de salinidades diferentes, esto entraña un período de adaptación cuya duración será proporcional a la amplitud de la variación. Las perturbaciones que ocasionan estos cambios se manifiestan por una retracción del manto cuyos bordes se despegan de las valvas, y por la secreción de una nueva concha en el interior de las mismas valvas. Por otra parte, una disminución prolongada de este factor, asociada generalmente a un aumento de la turbidez durante el invierno, provoca un retraso importante del desarrollo sexual.

De forma general y en relación a los demás grupos de especies podemos afirmar que la salinidad influye en la reproducción (gametogénesis y tolerancia de las larvas a los medios eurihalinos), la nutrición y el crecimiento de los organismos. Respecto a la reproducción, no es que la variación de salinidad afecte a la duración de la embriogénesis pero sí tiene un efecto negativo, junto con la temperatura, sobre la frecuencia de malformaciones y diversas patogenias. Respecto al crecimiento de los organismos, éste es óptimo en un intervalo restringido de salinidades, que va a variar según las especies. Además de estas consideraciones cabe destacar que ciertas especies de agua dulce como, por ejemplo, los Salmónidos, pueden adaptarse a aguas marinas siempre y cuando se vayan regulando los cambios.



Al igual que sucede con la temperatura, se dan efectos combinados entre ésta y la salinidad, siendo difícil disociar ambos parámetros. Por ejemplo, en el caso de los moluscos, una elevación de la temperatura, que aumenta la actividad, puede causar a su vez mortalidades a diversas especies o tener consecuencias graves si el aumento de la temperatura coincide con una caída en la salinidad. Sobre el plan práctico, se puede decir que los moluscos soportan mejor las bajadas de salinidades en períodos fríos que en primavera, verano y otoño, cuestión que hay que tener en cuenta para determinar las épocas de cambios de lugar y de siembras de semillas.

5. *Transparencia y turbidez*: La transparencia y/o turbidez del agua se debe a la presencia de materias en suspensión que pueden ser a la vez elementos vivos del plancton o bien elementos detríticos orgánicos y minerales. La turbidez modifica cuantitativa y cualitativamente la penetración de la luz en el agua, actuando en el sentido de disminuir la actividad fotosintética en la capa eufótica, es decir, la producción de fitoplancton, lo que afecta al comportamiento de las especies. La transparencia en el agua del mar es extremadamente variable en el espacio y en el tiempo, dependiendo fundamentalmente de factores tales como:

— El estado del mar, cuyos fenómenos de turbulencia son la causa de la puesta en suspensión de limos, fangos y arenas así como de todos los elementos que se depositan sobre los fondos durante los períodos de calma o bien que habitan generalmente sobre la superficie de los sedimentos.

— Los aportes continentales, ya que la turbidez va a ser siempre más elevada durante las etapas de crecidas de los ríos, al verter éstos hacia el mar una masa de aluvión importante. Estos aportes, si bien es cierto que aumentan la turbidez, también contribuyen a enriquecer las aguas en sales nutritivas y en materias orgánicas que, directa o indirectamente, penetran en el ciclo de los recursos nutritivos del medio, es decir, los fenómenos de turbulencia ponen en suspensión organismos bénticos que son fuente de alimento para las especies.

— La producción de zooplancton y de fitoplancton, que al ser estacionaria nos encontramos con el hecho de que generalmente desde la primavera al otoño el material orgánico vivo y sus deshechos representan una fracción elevada de los elementos en suspensión.

Como regla general, podemos decir que la transparencia de las aguas disminuye a medida que se aproxima a las costas, es baja en las zonas de estuarios y a fuertes turbulencias, siendo más claras en sectores abrigados que están poco o nada influenciados por las aguas dulces y cuyos fondos son arenosos.

La turbidez influye en el comportamiento de las especies, especialmente en el de los moluscos, concretamente sobre la filtración, ya que interviene en la actividad valvaria. También participa en los procesos de nutrición de todos los demás grupos de especies, en la medida en que el fitoplancton constituye la base de la alimentación de las fases larvarias, y por eso, ante una limitación en aguas litorales de la producción como consecuencia de la presencia de materias en suspensión que modifiquen cualitativa y cuantitativamente la penetración de la luz incidente en las aguas consti-

tuiría un factor limitante. Asimismo, un aclaramiento demasiado intensivo disminuye la fotosíntesis, por tanto las aguas transparentes no aseguran necesariamente una producción fitoplanctónica más elevada.

6. *Los gases disueltos*: Se puede decir que todos los gases atmosféricos están presentes en las aguas gracias a los cambios que se efectúan entre la interfase agua-aire, no obstante, conviene aclarar que no todos esos gases presentes en el agua tienen la misma densidad, la misma estabilidad y la misma importancia para los seres vivos, destacando aquellos de mayor incidencia que son, el oxígeno, el gas carbónico y el hidrógeno sulfurado.

El oxígeno disuelto: Es sin duda el más importante de los gases en lo que concierne a la vida de los animales al ser indispensable para la respiración de los organismos y facilitar la degradación de la materia orgánica detrítica y la realización de los ciclos bioquímicos. Este gas procede de la atmósfera y de la actividad fotosintética de las plantas acuáticas. Su concentración depende de las características físicas y biológicas del medio, pudiendo informar de los acontecimientos y dinamismo de las masas de agua. En las aguas en movimiento el oxígeno disuelto presenta una menor variabilidad espacial y temporal que en las aguas en reposo, en cuyas profundidades su renovación sólo tiene lugar cuando es posible el entremezclado. Es previsible, por tanto, que las comunidades biológicas de los ríos sean muy sensibles a pequeñas disminuciones de la concentración de oxígeno, lo que generalmente es consecuencia de los aumentos de temperatura del agua o de vertidos ricos en materia orgánica. Ambos procesos pueden acelerar la actividad bacteriana y por tanto el consumo de oxígeno.

Otros factores que ayudan a disminuir el contenido de las aguas en oxígeno disuelto, no se localizan en las capas superficiales sino repartidos en todo el medio. Estos son los fenómenos de respiración de los animales y vegetales marinos y los procesos, tanto de orden químico, como son las oxidaciones, como de orden biológico, como son las reacciones enzimáticas y la acción bacteriana. Así mismo, la oxidación de los sulfuros de hierro o de manganeso y de las materias orgánicas en suspensión o las que se encuentran sobre los fondos, necesitan una gran cantidad de oxígeno disuelto.

En medios de cultivos intensivos o semi-intensivos, fundamentalmente dulciacuícolas, estanques, embalses, lagos, pantanos, etc., los principales fenómenos que intervienen en la evolución del oxígeno en las aguas son:

- La difusión del oxígeno entre el aire y el agua.
- La fotosíntesis de los organismos vegetales, que con la luz sintetizan su propia materia a partir del  $\text{CO}_2$  (dióxido de carbono) volviendo a expulsar el oxígeno.
- La respiración de los organismos animales y vegetales, que de forma continua consumen el oxígeno y expulsan el  $\text{CO}_2$ .

La importancia relativa de estos diferentes procesos se expresan en la tabla 5 presentando los órdenes de tamaños de ganancias o pérdidas atribuibles a cada uno.

Tabla 5

**Orden de magnitud de las ganancias o pérdidas debidas a los principales procesos que intervienen sobre la evolución del oxígeno en cultivos intensivos**  
(Boyd y Lichtkoppler, 1979)

Procesos Ganancias	Gamma de variación (mg/l/día)
Fotosíntesis del fitoplancton .....	5 a 20
Difusión .....	1 a 5

Procesos Ganancias	Gamma de variación (mg/l/día)
Respiración del fito y zooplancton .....	5 a 15
Respiración de los peces .....	2 a 6
Respiración de los microorganismos y organismos bénticos .....	1 a 3
Difusión .....	1 a 5

La difusión del oxígeno del aire en el agua sólo se produce cuando el contenido en el agua es inferior al contenido a saturación (Tabla 6). Inversamente, la difusión del agua en el aire no se produce más que cuando el agua está sobresaturada en oxígeno. Cuando la diferencia entre el contenido del agua y el contenido a saturación es grande, la tasa de difusión se hace más importante. El principal aprovisionamiento en oxígeno del agua, la fotosíntesis, depende totalmente de la luz, y por otra parte, la penetración de ésta en el agua disminuye con la profundidad, en función de la turbidez, por lo que la producción de oxígeno también está en función de la distribución vertical. Como el consumo es, por contra, más importante en la proximidad del sedimento (degradación de la materia orgánica y respiración de los organismos bénticos) las zonas profundas son generalmente muy pobres en oxígeno, produciéndose por tanto una estratificación de los contenidos en oxígeno tanto más importante cuanto más elevada sea la turbidez y menor sea la penetración de la luz.

Considerando que la fotosíntesis sólo puede producirse durante el día y que ésta será más intensa cuanto mayor sea la luminosidad, en tiempo nuboso esta producción de oxígeno fotosintético se reduce, paralizándose durante la noche, en tanto que sigue habiendo consumo de oxígeno debido a la respiración. Por esta razón, la concentración en oxígeno del agua es máxima cuando la luminosidad del día es la más intensa, decrece durante la noche y es mínima al final de ésta. Igualmente, el papel que juega el fitoplancton en la evolución del oxígeno puede ser directo, al ser el principal productor (fotosíntesis) y también el principal consumidor (respiración) y, un papel, indirecto pues es el principal responsable de la turbidez del agua, que limita la penetración de la luz y por consiguiente la fotosíntesis y la producción de oxígeno en la profundidad.

Tabla 6

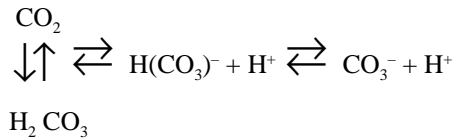
**Solubilidad del oxígeno (O<sub>2</sub>) en el agua pura en función de la temperatura (T),  
a altitud 0 y a presión atmosférica 1 atm**  
(adaptado de Goubier, 1990)

T °C	O <sub>2</sub> mg/l
5	12,77
6	12,45
7	12,13
8	11,84
9	11,55
10	11,28
11	11,02
12	10,77
13	10,53
14	10,29
15	10,07
16	9,86
17	9,65
18	9,54
19	9,27
20	9,08
21	8,91
22	8,74
23	8,57
24	8,42
25	8,26
26	8,12
27	7,97
28	7,84
29	7,70
30	7,57

El contenido de las aguas marinas en oxígeno, en condiciones normales, es suficiente para asegurar la vida de las especies de los diversos grupos, si bien los desequilibrios pueden sobrevenir localmente por diversas causas, tales como las condiciones atmosféricas, ausencia de corrientes, aumento excepcional de materia orgánica, sobrepoblación eventual de las rías y estuarios, etc. Para las aguas dulces, en situaciones normales la evolución del oxígeno disuelto sigue una curva que se corresponde con la curva de evolución de la fotosíntesis, principal proceso productor de oxígeno. De modo que, al igual que en el caso de las aguas marinas, los desequilibrios se darían como respuesta al hecho de que a más abundancia de fitoplancton, más importante es la variación diaria de oxígeno y ante un *bloom* intenso puede lle-

gar a suceder que la caída nocturna del oxígeno conduzca a valores letales para los peces al final de la noche. Esta situación es tanto mas probable cuando la carga en materia orgánica de la zona de cultivo (embalses, lagos, pantanos, etc.) sea importante (cantidad importante de fangos, aporte de fertilizantes orgánicos o de alimentos, etc.) y que la temperatura sea elevada (crecimiento de metabolismo y en consecuencia de la respiración). Tales procesos pueden conducir a una mortalidad parcial o total de las especies objeto de cultivo.

*Gas carbónico:* El contenido en gas carbónico puede estar bajo diversas formas que constituyen lo que se llama sistema gas carbónico. El carbónico es así presentado bajo la forma de iones carbonatos y bicarbonatos de moléculas no disociadas de  $\text{CO}_2$  y de ácido carbónico que están, a cada instante, en equilibrio los unos con los otros y con los iones hidrógeno del medio. El conjunto puede ser, bajo un punto de vista dinámico, esquematizado según las ecuaciones reversibles siguientes:



( $\text{HCO}_3^-$  = ion bicarbonato;  $\text{CO}_3^-$  = ion carbonato).

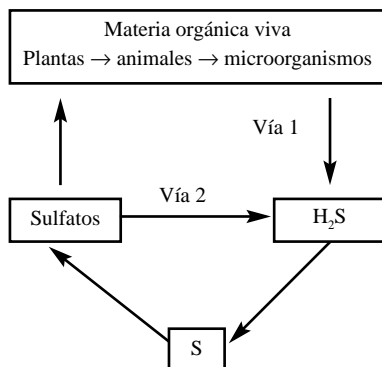
Estas ecuaciones permiten comprender el papel jugado por la alcalinidad o la acidez, de forma que un aporte fuerte de ácido al agua va a desplazar el equilibrio hacia la izquierda y contribuir a la formación del gas carbónico libre, mientras que el aporte de sustancias alcalinas dará lugar a una reacción en sentido inverso, es decir a la formación de iones carbonatos.

El contenido en  $\text{CO}_2$  total aumenta con la elevación de la temperatura, la salinidad, la precipitación del carbonato de calcio, pero también con la respiración de todos los organismos marinos y disminuye con los descensos de la temperatura, la salinidad, la solubilización del  $\text{CaCO}_3$  y con la actividad fotosintética (Maurin, 1974).

*Hidrógeno sulfurado:* Su presencia más o menos importante en el medio se traduce por un enriquecimiento del oxígeno disuelto pudiendo llegar, en casos extremos, hasta una anaerobiosis total en las capas profundas. Tiende entonces a establecerse a nivel de las aguas un gradiente con un contenido máximo de hidrógeno sulfurado ( $\text{H}_2\text{S}$ ) al fondo y un mínimo en superficie, gradiente que se invierte para el oxígeno disuelto.

Ciertos biotopos, por sus características topográficas, climáticas e hidrobiológicas, parecen propicios a la formación del hidrógeno sulfurado, que por otro lado forma parte del ciclo del azufre. En concreto, la formación del hidrógeno sulfurado puede ser representado según la figura 9.

Figura 9  
**Diagramas de formación del hidrógeno sulfurado**  
(Maurin, 1974)



El hidrógeno sulfurado puede provenir, bien de la mineralización anaerobia del azufre orgánico (vía 1) o bien de la reducción del azufre oxidado (sulfato reducción) (vía 2).

En condiciones ecológicas normales el azufre bajo forma de sulfuros provenientes de la descomposición de la materia orgánica es oxidado en sulfato por las numerosas bacterias sulfo-oxidantes como las bacterias sulfurosas verdes y púrpuras o las bacterias quimiótrofas tales como las bacterias de los géneros *Beggiatoa*, *Thiospirillopsis*, *Thioploca* y *Thiotrix*. Generalmente, la actividad de estas bacterias sulfo-oxidantes es normalmente contra-balance, como se indica en la figura 9 para las bacterias sulfato reductoras, pero puede suceder que, dadas unas condiciones ecológicas particulares, el hidrógeno sulfurado se acumule determinando las condiciones anaerobias tóxicas para la mayor parte de los seres vivos. Entonces se pueden establecer, en el seno de las aguas, verdaderos períodos de crisis, análogos a los descritos a lo largo de los fenómenos bacterianos de las mareas rojas.

Respecto a otros gases, como por ejemplo el nitrógeno, que es un nutriente limitante en las aguas saladas, sus concentraciones van a depender también esencialmente de la salinidad y de la temperatura. A pesar de que existen bacterias susceptibles de fijar el nitrógeno atmosférico, no se halla muy influida la concentración por las actividades biológicas y se puede considerar que este factor es relativamente estable.

7. *El pH o concentración en iones hidrógeno:* El pH de un agua es, por definición, el logaritmo decimal de la inversa de su concentración en iones H<sup>+</sup>:  $\text{pH} = \log 1/[\text{H}^+]$ , ésta es la expresión de su acidez o de su alcalinidad. El conocimiento de este sistema permite comprender mejor la importancia del pH de la reserva alcalina y el efecto tampón del agua de mar ya que si bien la temperatura y salinidad son las

características principales de estas aguas, sin embargo, no son suficientes para dominar los estudios sobre la biología de los diversos organismos. Es preciso tener datos sobre los diversos iones contenidos en el agua, pues ciertos de ellos presentan una importancia particular; estos son, por ejemplo, aquellos que dan a la solución de las sales disueltas un carácter ácido o alcalino.

El pH de un agua es, salvo casos particulares, superior a 7, ello supone que contiene un excedente alcalino susceptible de compensar rápidamente una disminución de pH, debida, por ejemplo, a un aporte de ácidos o de compuestos ácidos en el medio. Este exceso de base o reserva alcalina está constituido esencialmente por cationes básicos asociados a radicales de ácidos débiles como los ácidos carbónicos o bóricos. Ello confiere al agua de mar la propiedad de las soluciones tampones que, limitando las variaciones de pH, permite el mantenimiento de condiciones del medio favorables a la vida de los organismos marinos. En las aguas superficiales a  $\text{pH} = 8$ , las algas llevan a cabo la fotosíntesis del carbono, nitrógeno y azufre. Este proceso proporciona poder reductor a un gradiente vertical característico que va hacia las aguas profundas y oscuras, a  $\text{pH} = 7$ , aquí, las bacterias llevan a cabo un proceso inverso, desencadenando a su vez un flujo de electrones hacia la zona iluminada.

La mayoría de especies toleran valores de pH comprendidos entre 6 y 9, es decir, un rango bastante más amplio que el de las variaciones que normalmente se registran en el medio natural. A título de ejemplo, los valores ácido y básico de pH que en cuarenta días causan la mortalidad del 50% de los alevines del salmón del Atlántico serían del orden de 4,5 y 10,2 respectivamente (Barnabe, 1991).P

### 3.2. Gestión de los recursos acuáticos: calidad y control

La calidad del agua es un factor fundamental en cualquier proceso acuícola, ya que de ella dependerá que el desarrollo de los organismos sea bueno, así como los rendimientos que se prevean obtener, debido a que el agua tiene influencia en los tres niveles básicos, el crecimiento, la reproducción y la supervivencia. Por tanto, la disponibilidad de la misma con calidad adecuada es importante para todos los sistemas de producción, aunque fundamentalmente lo es en el caso de los cultivos intensivos. Por otra parte, las necesidades de agua son específicas para cada especie y su determinación exacta dependerá de los requerimientos de los diversos parámetros de los cultivos, de su capacidad de resistencia frente a los contaminantes, de las técnicas de desarrollo y de los métodos que se vayan a emplear, lo que nos lleva a encontrar diferentes situaciones:

a) Cultivos extensivos/semiintensivos, en los que se puede intervenir aunque sea ocasionalmente mediante la adicción de fertilizantes, para desarrollar las cadenas tróficas asegurando un equilibrio natural, mineral, vegetal y animal del sistema.

b) Cultivos en los que se practica un reciclaje completo del agua, como en las *hatcheries*, en las que se trabaja únicamente con animales y se controla el manteni-

miento de los equilibrios biológicos a procedimientos artificiales, tales como bombeo, filtración, regulación de las temperaturas, niveles de oxígeno, salinidades, etc.

c) Cultivos intensivos en los que el volumen del agua se renueva en función de la densidad del cultivo y de la cantidad de alimento aportado desde el exterior.

En todos estos casos, los principales indicadores de la calidad del agua son:

- Temperatura.
- Salinidad.
- pH.
- Concentración de oxígeno/anhídrido carbónico.
- Concentración de amoníaco.
- Concentraciones de nitritos, nitratos, fósforo, calcio, magnesio, cloro.
- Partículas sólidas en suspensión.
- Turbidez.
- Metales pesados.
- Fenoles y compuestos orgánicos.

La temperatura y el oxígeno disuelto son parámetros que afectan a la tasa de crecimiento, mientras que a su vez el oxígeno disuelto y el pH actúan a nivel de la reproducción. Haciendo un análisis sobre estos factores, digamos que en relación a la temperatura será un criterio importante, tal como hemos visto en el apartado referente a las pautas de selección de especies y de elección de zonas, si bien en los centros de cultivo en los que se utilicen sistemas con un suministro de agua recirculante, es posible controlar este parámetro, mientras que dicho control es extremadamente difícil (por no decir imposible a un coste razonable) en las grandes granjas de estanques.

La salinidad y sus variaciones es otra de las variables importantes que hemos de tener en cuenta para mantener una calidad aceptable respecto a una especie determinada, ya que algunas presentan amplios márgenes de tolerancia, hasta el extremo de haberse observado que determinados peces de agua dulce crecen más rápidamente en aguas ligeramente salinas, mientras que otros de aguas salobres lo hacen con mayor velocidad en aguas dulces, sin embargo, en ambos casos los animales todavía tienen unos límites de supervivencia, e incluso si sobreviven a dichos límites, el desarrollo y la reproducción podrían verse alterados.

Respecto a la acidez y la alcalinidad se considera que los valores de pH del agua para los cultivos de las especies acuícolas deben de mantenerse entre 6,7 y 8,6, ya que con valores superiores o inferiores a estos se inhiben el crecimiento y la reproducción, aunque la magnitud del efecto dependerá de la especie y de las condiciones ambientales, tales como concentraciones de dióxido de carbono o presencia de metales pesados, como por ejemplo el hierro. Por otra parte, el agua ácida con pH entre 5,0 y 5,5 puede ser nociva para las larvas y los juveniles de la mayoría de los peces y para la fase adulta de muchos otros, debido al hecho de que la acidez reduce la rapidez de descomposición de la materia orgánica e inhibe la fijación de nitrógeno, con lo que afecta la productividad global. Asimismo, valores elevados del pH



también pueden ser perjudiciales, sin embargo, debe de hacerse notar que en aguas productivas el pH podría alcanzar valores superiores a 9 ó 10 a causa de la captación de dióxido de carbono durante la fotosíntesis, aunque nunca puede olvidarse que un nivel de pH 11 podría ser letal.

La concentración del oxígeno es un factor determinante en la calidad del agua, de tal forma que un descenso de la misma, que puede ser como consecuencia de un aumento en el consumo, obligará necesariamente a disponer de un sistema complementario de oxigenación, mediante simples sistemas de aireación, agitación (Fig. 10), o bien a través de métodos más sofisticados. Señalemos por otra parte que durante la noche el oxígeno acumulado en la superficie se pierde en el aire o se consume por la respiración de los animales y plantas del estanque al igual que en las capas más profundas puede llegarse a concentraciones muy bajas (este es el motivo por el cual no es recomendable construir estanques de profundidades mayores de dos metros). En contraposición, existe un incremento en las tasas de oxígeno disuelto al final del día debido a la fotosíntesis que ocurre en las capas superficiales, tasas que han de ser asimismo controladas ya que las altas concentraciones pueden causar problemas de tipo patológico tales como la enfermedad de las burbujas en los peces.

Figura 10

**Depósitos en paralelo con sistemas de agitación de agua**



Como producto final de la descomposición de la materia orgánica se forman los nitritos que actúan como estado intermedio en la conversión del amoníaco a nitrato. Las concentraciones elevadas de amoníaco representan un parámetro muy peligroso en los cultivos intensivos ya que pueden ocasionar el estrés y la muerte de los organismos, sin embargo, el nitrógeno y el metano no son considerados como críticos. Por otra parte, la materia orgánica puede proceder de diversas fuentes, como hemos dicho, de los restos de alimentos, de las excretas de los organismos, de las descomposiciones vegetales de los productos químicos empleados en las operaciones de cultivo, etc. Una proporción variable de los alimentos suministrados a los organismos no es ingerido, bien porque se sobrealimentan o bien porque sus sistemas de ingestión son deficientes y no optimizan la digestión, en estos casos la fracción del alimento no digerida es eliminada en forma de heces sólidas, mientras que aquellos nutrientes absorbidos en exceso son excretados a través de las branquias junto a los productos finales del catabolismo de las proteínas en forma de amonio y urea disueltos.

En cuanto a los productos químicos empleados en la acuicultura intensiva, como formol, verde de malaquita o hipoclorito sódico, lo son generalmente de forma muy diluida por lo que son degradados rápidamente y en consecuencia su actividad se reduce a períodos de tiempo muy limitados. Los antibióticos, añadidos generalmente al pienso, son liberados en la fracción del alimento no consumido por los animales, pero una vez disueltos en agua las tasas de descomposición e inactivación de la mayoría de estos compuestos son tan altas que no se consideran especialmente perjudiciales, además, por lo general, la materia orgánica que se libera en forma sólida se degrada con facilidad en el sedimento en presencia de oxígeno, si bien este proceso de descomposición puede dar lugar a déficit del oxígeno disuelto en el sedimento, provocando un cambio en las condiciones químicas que favorecen la liberación adicional de fósforo y nitrógeno contenido en la materia orgánica hacia la columna de agua y con ello acelerando el proceso de eutrofización. La consecuencia será siempre el consumo de oxígeno, con lo que afecta a los propios organismos cultivados, llegando a dar lugar a fenómenos de desoxigenación total en ciertas estaciones del año, frecuentemente asociadas con formaciones de termoclinas estivales en la columna de agua y a los ciclos de mareas. Frente a estas situaciones se puede mejorar la calidad del agua mediante la eliminación de las partículas sólidas a través de diferentes procesos que analizaremos en este mismo capítulo.

Por otra parte, la elevada turbidez del agua a causa de sólidos suspendidos afecta a la productividad y a la vida misma de los organismos al reducir la penetración de la luz en el agua y, de este modo, la productividad primaria. Tal situación influye en la producción secundaria además de ocasionar alteraciones como pueden ser la obstrucción en el aparato filtrador de los moluscos o la lesión de las branquias de los peces y crustáceos y afectar en alto grado al desove y al desarrollo de las larvas, si bien los efectos concretos van a depender por una parte de la especie cultivada y por otra de la naturaleza de las materias suspendidas, pero, en general, serán graves cuando el agua contenga alrededor del 4% en volumen de sólidos.

También la supervivencia de las especies, que dependerá de los procesos patológicos, se verá influida por la calidad del agua, ya que ésta tiene un papel fundamental en el desarrollo de las enfermedades infecciosas y los procesos toxicológicos (Cebrián *et al.*, 1987) y precisamente, respecto a estos últimos, es necesario hacer especial hincapié sobre la influencia-relación que ejercen los distintos factores de la calidad del agua sobre las enfermedades (Girard, 1993):

1. Enfermedades virales: éstas se ven favorecidas por la presencia de materias en suspensión y orgánicas, y concretamente:

— Por presencia de cobre: la necrosis hematopoyética infecciosa.

— Por elevación de la temperatura, materias en suspensión e hidrocarburos: la enfermedad linfocística, el herpes del rodaballo y los papilomas y tumores.

— Por caída de oxígeno y disminución del pH: la necrosis pancreática infecciosa.

2. Enfermedades bacterianas, se ven favorecidas:

— Por elevación de la temperatura, el cobre, las materias en suspensión y los hidrocarburos: Fibrosis.

— Por elevación de la temperatura, el cobre y materia orgánica: Yersinosis.

— Por *chocks* térmicos: Corinebacteriosis.

— Por metilmercurio: Pseudomoniosis.

— Por metales pesados: enfermedad ulcerativa de la lubina.

— Por aumento de la temperatura, materias orgánicas y amoníaco: Aeromonas y furunculosis.

— Por aumento del pH, amoníaco, materias orgánicas, dureza, presencia de materias minerales y disminución de oxígeno: Myxobacteriosis y flexibacteriosis.

3. Enfermedades parasitarias, influenciadas:

— Por disminución de oxígeno y materias en suspensión: todas las parasitosis.

— Por fenoles, amoníaco y pesticidas: Saproleginosis.

— Por aumento de la temperatura: Lerneaiosis, bucefalosis larvaria y chondrococcus.

Un caso particular que debemos de analizar es la calidad de aguas de las marismas, ya que la mayoría de los cultivos semiintensivos se llevan a cabo en estos medios, los cuales se caracterizan por presentar los parámetros reseñados en la tabla 7, en base a cuyos valores podemos resumir las características generales de los medios marismales como aguas que presentan:

— Bajo contenido en oxígeno disuelto.

— Fuerte contenido en gas carbónico libre.

— Fuerte contenido en nitrógeno amoniacal.

— Las sales nutritivas, fosfatos y materias nitrogenadas son abundantes, por ello presentan gran interés para los cultivos de fitoplancton.

Por otra parte, se caracterizan por diversas particularidades ecológicas tales como que en el interior de las zonas las variaciones de temperatura son exacerbadas, la baja inercia térmica hace que los valores extremos sean muy fuertes, los conteni-

Tabla 7

**Valores extremos de los diferentes parámetros en aguas de marismas**  
(Clement, 1991)

Parámetros	Valores extremos
— Temperatura .....	13,5-15 °C
— Salinidad .....	10-45‰
— Oxígeno disuelto .....	< 1mg/l
— pH .....	6,5-7,5
— Gas carbónico libre .....	500-400 mg/l
— Nitrógeno amoniacal libre .....	1-10 mg N/l
— Nitratos .....	0,01-1 mg N/l
— Fosfatos .....	0,1-1 mg P/l
— Silicatos .....	2-5 mg Si/l
— Hierro total .....	0,1-5 mg/l

dos en oxígeno disuelto pueden variar fuertemente en un ciclo de 24 horas según la función clorofílica que esté sucediendo. Unido a esto ocurre que las diversas reacciones y actividades biológicas que tienen lugar en los límites agua-sedimento dan a esta interfase un papel clave en la acumulación de materia orgánica y su mineralización así como en la remesa de disposición de sales nutritivas que puedan faltar en ciertos momentos.

Estos medios tienen una productividad primaria muy fuerte, comparados con las aguas costeras, cuando esta productividad consiste en abundancia de algas unicelulares, se pueden dedicar al cultivo de moluscos o a especies animales de pequeña talla que luego sirvan de alimento a peces y crustáceos. Cuando por el contrario, por diversas razones (materia orgánica en grandes concentraciones, fuertes variaciones de salinidad, etc.) abundan las algas pluricelulares (macrofitas), las cuales invaden las zonas, presentan estas circunstancias inconvenientes para el desarrollo acuícola.

### Control de la calidad del agua

A nivel práctico se utilizan diversos sistemas para mejorar y controlar la calidad del agua, estos pueden basarse fundamentalmente en la realización de acciones de limpieza, purificación, pretratamiento, etc. Normalmente se emplean sistemas de regulación de oxígeno y sistemas de filtración y de esterilización, de tal manera que podemos decir que las técnicas de aireación, tratamiento y reciclaje del agua permiten paliar ciertos inconvenientes permanentes o temporales de abastecimiento y entre otros, podemos citar:

- Una falta de caudal de agua con respecto a la producción prevista.
- Una contaminación en un lugar en el que se lleve, o pretenda llevar, a cabo un proyecto acuícola.
- Una temperatura demasiado baja para la producción proyectada.

Entre los parámetros que se consideran prioritarios a la hora de actuar sobre el agua de un cultivo se encuentran el control del oxígeno y el de los parámetros físico-químicos.

a) **Actuación sobre el control de oxígeno:** Los problemas relativos al oxígeno en el agua son poco frecuentes en piscicultura de ensenadas, albuferas, etc., ya que se trata de un sistema de producción extensivo o semiintensivo. Por contra, estos inconvenientes se van generalizando a medida que se intensifica el sistema de producción, bien sea por la fertilización mineral u orgánica del medio o bien por el aporte de alimentos a los peces. No obstante, estos problemas de desoxigenación que se pueden presentar en medios de cultivo, pueden ser perfectamente controlados, existiendo técnicas de oxigenación en caso necesario, con maquinarias adecuadas que están disponibles y al alcance de los profesionales, sin embargo, a modo indicativo nos referimos a los siguientes medios de lucha contra la desoxigenación, contemplando dos aspectos:

1. Lucha contra los factores de desoxigenación mediante control, en particular de la evolución del fitoplancton, pudiendo realizarse por tratamientos preventivos que limiten la formación de los *blooms* algales y reduzcan el riesgo de *die-off*, y otros curativos que destruyan parcialmente o totalmente el *bloom* existente. La prevención y tratamiento de los *blooms* algales se llevan a cabo mediante intervenciones sobre la calidad del agua empleando medios de lucha biológica y medios químicos.

2. Lucha contra la propia desoxigenación del agua, aireándola de una manera artificial, con la ayuda de diversos tipos de aparatos, existentes en el mercado, tales como los aireadores que producen movimiento por la influencia de la fuerza de un tractor, aireadores eléctricos y/o circuladores de agua.

b) **Sistemas de filtración:** Los sistemas de filtración consisten en tratar el agua de forma que se eliminen y controlen las variaciones en las características químicas de la misma. Todos los sistemas son abiertos en mayor o menor grado, en el sentido de que siempre es necesario reponer alguna cantidad de agua, así como regular el nivel de sustancias excretadas y los límites de tolerancia de la especie, si bien esto va a depender de factores tales como la densidad de población, la cantidad del alimento suministrado al día, el volumen del cultivo en relación al volumen total de agua, etc. Estos sistemas no suelen utilizarse en las granjas de engorde, debido a que a esos niveles no es necesaria, ya que los adultos son mucho más resistentes que las larvas.

Existen en todas las instalaciones depósitos de agua y sistemas primarios de filtros del agua (Figs. 11 y 12). Los distintos tipos de filtración que se utilizan en la actualidad pueden ser:

- Filtración mecánica.
- Filtración biológica.
- Filtración química.

**Filtración mecánica.** El objetivo básico de la filtración mecánica es eliminar las partículas en suspensión, consistiendo este sistema en forzar el paso del agua a tra-

Figura 11  
**Depósitos generales de agua**



vés de un filtro de poro constante, de tal modo que las partículas que tienen un tamaño superior al de dicho poro quedan retenidas por el filtro. La filtración suele requerir previamente de un bombeo para que el agua sea capaz de atravesar los filtros.

En acuicultura se suelen utilizar diversos tipos de filtros, según la etapa del cultivo y las necesidades del mismo, estos son filtros de arena, filtros de cartucho, filtración al vacío o microfiltración y filtros de tierra de diatomeas, cuyo grado de filtración es equivalente al de los filtros de cartucho.

— Filtración a través de arena: Este tipo de filtración se realiza prácticamente en todo el agua del criadero que ha de sufrir este primer proceso a través de un filtro de arena que logre retener las partículas mayores de 40 ó 50 micras. El sistema consiste básicamente en hacer pasar el agua, previamente decantada, por un filtro de arena, en el que las partículas mayores queden retenidas en los espacios existentes entre los granos de arena. Cuando el filtro ha retenido muchas partículas, su capacidad de filtración (caudal de filtración) desciende, y se hace preciso lavarlo, para ello se le introduce agua en dirección opuesta (retrolavado) de tal modo que arrastre hacia el exterior todas las partículas retenidas. En la parte superior del filtro se dispone una válvula para purgar o extraer el aire.

Figura 12

**Sistemas primarios de filtros de agua**



— Filtración a través de cartuchos: se emplea generalmente cuando el agua tenga que destinarse a las secciones y unidades de cultivo que requieren una filtración mas fina que la realizada a través de los filtros de arena, es decir que precisen la eliminación de las partículas mayores de 1 micra, como sucede en los cultivos de larvas, fitoplancton e, incluso, de semillas de moluscos inferiores a 1 mm. Los cartuchos se disponen en el interior de carcasas o portacartuchos que pueden ser también de diversos materiales. La capacidad de filtración depende de la superficie, así, cuando se necesita filtrar caudales grandes y no es suficiente con un solo cartucho, se recurre a colocar varios en paralelo. La vida media de los cartuchos depende del grado de partículas e impurezas que contenga el agua. Las partículas pueden quedar retenidas tanto en la superficie del cartucho como en el fondo.

— Filtración al vacío o microfiltración: se utiliza para garantizar la pureza en algunas unidades de cultivo en las que se requiere agua estéril y filtrada a través de poro igual o menor de  $0,45 \mu$ , tal como en las secciones de fitoplancton, tubos de ensayo, etc. Para conseguirlo con casi total garantía se suele recurrir a la microfiltración mediante equipos que fuerzan el paso del agua a través de pequeños filtros provocando el vacío debajo de la membrana filtrante.

— Filtros de tierra de Diatomeas: en algunas instalaciones acuícolas se sustituyen los filtros de cartucho por este tipo de filtros de tierra de Diatomeas, consistentes en un material granular compuesto por restos esqueléticos de dichas microalgas, los cuales pueden sustituir a los filtros de cartucho cuando se requieren caudales elevados de filtración.

**Filtración biológica.** El objetivo de este modelo de filtración es eliminar el amoníaco y los productos catabólicos, para lo cual se suelen utilizar diversos sistemas tales como la filtración biológica microbiana, por algas, etc. La más utilizada es la microbiana que consiste básicamente en el paso del agua a través de un filtro que contiene gran cantidad de bacterias las cuales reciclan los productos catabólicos, concretamente el amoníaco, ya que los géneros *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*, transforman el amoníaco en nitrito y luego en nitrato, siendo éste último mucho menos tóxico para los peces.

Una de las exigencias a la hora de seleccionar los biofiltros es que estos posean características que faciliten el desarrollo de las poblaciones bacterianas, para ello, es preciso tener en cuenta los parámetros físicoquímicos del agua, fundamentalmente en lo que se refieren a la temperatura y la salinidad, que afectan directamente al desarrollo de estos géneros de bacterias y además hay que controlar que exista una adecuada cantidad de oxígeno, a fin de que no se produzcan fermentaciones anaerobias. Respecto al pH, que afecta al equilibrio entre ion amonio y amoníaco no ionizado, hay que evitar que aumente, ya que si lo hace se desplaza el equilibrio, incrementando la cantidad de amoníaco no ionizado. Por otra parte, es muy importante que mientras que el filtro esté funcionando, no se administren productos de tipo antibiótico.

**Filtración química.** Este modelo de filtración se emplea cuando hay que eliminar productos de excreción, como por ejemplo el amoníaco, urea, etc., así como otras sustancias de tipo residual, o bien cuando se hace preciso establecer sistemas de control del equilibrio ácido-base. Los dos métodos más usados son el del carbón activo, que elimina tanto productos de excreción como los residuales (cloro) y a veces se emplea conjuntamente con los filtros biológicos y el de carbonatos que se utiliza para controlar el pH.

c) **Esterilización:** En determinadas secciones de un establecimiento acuícola, especialmente durante las primeras fases de los cultivos de fitoplancton, los departamentos de larvas, las primeras fases de la semilla y los laboratorios, se precisa necesariamente agua estéril, para lo cual es necesario acudir a la esterilización, empleando como métodos más usuales la esterilización por radiación ultravioleta, por ozono y/o por cloro.

— *Esterilización por radiación ultravioleta:* esta técnica se basa en el poder letal de los rayos ultravioletas sobre los microorganismos, pudiéndose utilizar los U.V. al aire libre y a presión, si bien sea cual sea el sistema que se emplee, las lámparas de U.V. han de instalarse muy cerca del agua y ésta ha de pasar en lámina delgada. Por otra parte, debido a que sólo se pueden aplicar en aguas poca cargadas en



materias en suspensión, el emplazamiento de estos tipos de instalaciones ha de ubicarse inmediatamente a continuación de los de filtración.

La esterilización mediante radiación al aire libre se basa en la instalación de lámparas provistas de reflectores encima de un canal por el que circula el agua, formando una fina lámina de 3 a 5 cm de espesor. Si bien esta técnica es más económica que la de presión tiene bastantes inconvenientes, además de requerir la existencia de un canal abierto y un elevado número de lámparas.

La técnica de esterilización a presión está mucho más extendida, pero a la hora de proceder a su instalación es preciso tener en cuenta factores tales como el caudal del agua que se pretende tratar, los organismos que se quieren destruir y el grado de esterilización que se quiere obtener.

— *Esterilización por ozono*: se basa en las propiedades que posee el ozono, consistentes en que una vez disuelto el gas en el agua, éste reacciona con la materia orgánica oxidándola rápidamente. La eficacia de la utilización del ozono es mucho mayor cuando se actúa sobre aguas previamente tratadas, por lo que su instalación se realiza, al igual que indicábamos en el caso de la esterilización por radiaciones ultravioletas, inmediatamente después de la unidad de filtración.

— *Esterilización por cloro*: este tipo de esterilización responde mejor al concepto de desinfección y generalmente se usa a nivel de depuradoras más que de establecimientos de producción de especies. Por otra parte, es preciso tener en cuenta que para este sistema no suele emplearse el cloro en forma de gas sino como hipoclorito sódico.