

Manual de cálculos, estimaciones y consideraciones básicas para granjas piscícolas

Mónica Botero Aguirre
Alejandro Velásquez Martínez
Juan Carlos Gómez Jaramillo

$1,55 * 620 \text{ g}^{0,64} =$

Anim. CI totales promedio/granja = núm. promedio Anim. CI/lote * núm. lotes Anim. CI

$0,22$

Anim. CI/lote * núm. lotes Anim. CI

Anim. CI totales promedio/granja = núm. promedio

$\text{Caudal: } 275 \text{ l/s; } \Delta O_2 =$

Anim. CI totales promedio/granja = núm. promedio Anim. CI/lote * núm. lotes Anim. CI

Anim. CI totales promedio/granja = núm. promedio Anim. CI/lote * núm. lotes Anim. CI

Ciencias Agrarias

Manual de cálculos, estimaciones y consideraciones básicas para granjas piscícolas

Mónica Botero Aguirre
Alejandro Velásquez Martínez
Juan Carlos Gómez Jaramillo



Manual de cálculos, estimaciones y consideraciones básicas para granjas piscícolas

Primera edición: noviembre 2022

ISBNe: 978-628-7592-41-4

Autores

Mónica Botero Aguirre

Zootecnista, Doctora en Biología Marina y Acuicultura, Docente Universidad de Antioquia

Alejandro Velásquez Martínez

Zootecnista, MSc y PhD en Acuicultura y Ciencias Acuícolas

Juan Carlos Gómez Jaramillo
Zootecnista

Colaborador capítulo 7

Dursun Barrios Hernández

Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Desarrollo Rural y Agroalimentario, Grupo de Investigación Biogénesis.

Corrección de textos

Angélica Gómez

Diseño y diagramación

Sandra María Arango, Oficio Gráfico



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento- No Comercial-Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.



Universidad de Antioquia
Facultad de Ciencias Agrarias
Ciudadela de Robledo, Carrera 75 # 65-87
Teléfonos: (57-4) 219 91 76, 219 91 777
Medellín, Colombia



Página Web



Facebook

Contenido

1. Introducción	13
2. Parámetros fisicoquímicos del agua: valores de referencia y consideraciones	21
2.1. Factores físicos del agua	23
2.1.1. <i>Temperatura</i>	23
2.1.2. <i>Turbidez</i>	26
2.2. Propiedades químicas.....	29
2.2.1. <i>Oxígeno</i>	29
2.2.2. <i>Dióxido de carbono</i>	41
2.2.3. <i>Nitrógeno</i>	42
2.2.4. <i>Amonio</i>	43
2.2.5. <i>Sulfito de hidrógeno (H₂S)</i>	45
2.3. Sistemas buffer.....	46
2.3.1. <i>pH</i>	46
2.3.2. <i>Alcalinidad</i>	47
2.3.3. <i>Salinidad</i>	48
2.3.4. <i>Dureza</i>	49
2.3.5. <i>Hierro</i>	50
3. Cálculos relacionados con el consumo de oxígeno	53
3.1. Consideraciones sobre el consumo de oxígeno de acuerdo a la biomasa, la temperatura del agua y la edad	53
3.2. Consumo de oxígeno para peces de aguas frías	55
3.3. Consumo de oxígeno para peces de aguas cálidas	68

4. Cálculo de caudales	79
4.1. Valoración del caudal para una piscifactoría con base en parámetros físico químicos.....	79
4.2. Determinación de volúmenes de producción con base en el caudal disponible.....	82
4.3. Recambio en porcentaje/unidad de tiempo y volumen/unidad de tiempo (Q).....	84
4.4. Cálculo de caudal con reutilización del agua.....	86
4.5. Pérdidas por evaporación e infiltración.....	94
4.5.1. <i>Evaporación</i>	94
4.5.2. <i>Infiltración</i>	98
5. Cálculos de alimentación	103
5.1. Consumo aproximado estimado según biomasa.....	107
5.2. Conversión alimenticia.....	113
5.3. Crecimiento estimado.....	115
5.4. Evaluación de productividad.....	119
5.5. Cálculo sobre ganancia de peso.....	122
6. Programación de una granja piscícola	125
6.1. Cálculo del número de reproductores y animales de cada fase en la granja.....	125
6.1.1. <i>Número de ovas embrionadas para venta y reproductoras requeridas</i>	127
6.1.2. <i>Número de larvas para venta y reproductoras requeridas</i>	127
6.1.3. <i>Número de poslarvas para venta y reproductoras requeridas</i>	127
6.1.4. <i>Número de alevinos para venta y reproductoras requeridas</i>	128
6.1.5. <i>Número de juveniles o animales de levante para venta y reproductoras requeridas</i>	128
6.1.6. <i>Número de animales de ceba I para venta y reproductoras requeridas</i>	128
6.1.7. <i>Número de animales de ceba II para venta y reproductoras requeridas</i>	129
6.1.8. <i>Hembras futuras reproductoras para la venta y reproductoras requeridas</i>	129

6.1.9. Machos futuros reproductores para la venta y reproductoras requeridas	129
6.1.10. Número de reproductoras (subtotal).....	130
6.1.11. Hembras de reemplazo para la granja y reproductoras requeridas	130
6.1.12. Machos de reemplazo en la granja y reproductoras requeridas	131
6.1.13. Número de reproductoras (total).....	131
6.1.14. Número total de reproductores en granja	131
6.2. Distribución de la población en lotes e inventario (stock) de animales en granja	131
6.2.1. Lotes de reproductores	132
6.2.2. Lotes de ovas (incubadoras).....	134
6.2.3. Lotes de ovas embrionadas importadas (incubadora o en canaleta)	135
6.2.4. Lotes de larvas (en canaletas, tanques, estanques).....	136
6.2.5. Lotes de poslarvas (canaletas, tanques, estanques).....	136
6.2.6. Lotes de alevinos	136
6.2.7. Lotes de dedinos (solo en trucha) en tanques RAS, Biofloc, jaulas o estanque	137
6.2.8. Lotes de juveniles (levante) en tanques RAS, Biofloc, jaulas o estanque.....	137
6.2.9. Lotes de ceba I (engorde I) en tanques RAS, Biofloc, jaulas o estanque	138
6.2.10. Lotes de ceba II (engorde II) en tanques RAS, Biofloc, jaulas o estanques	138
6.2.11. Lotes de futuras reproductoras para venta	138
6.2.12. Lotes de futuros reproductores para venta	139
6.2.13. Lotes de hembras de reemplazo	139
6.2.14. Lotes de machos de reemplazo	140
6.3. Determinación de la infraestructura para lotes de reproductores (hembras y machos), larvas, alevinos, levante, ceba, futuros reproductores hembras y machos para venta, hembras y machos de reemplazo	140
6.3.1. Infraestructura para reproductores	141
6.3.2. Incubadoras.....	142
6.3.3. Infraestructura para producción de larvas	142
6.3.4. Infraestructura para producción de poslarvas	143
6.3.5. Infraestructura para producción de alevinos	143
6.3.6. Infraestructura para producción de dedinos (solo en trucha).....	143
6.3.7. Infraestructura para producción de juveniles (estanques, tanques de biofloc o RAS)	144

6.3.8. Infraestructura para producción de animales de ceba I (estanques, jaulas, tanques de biofloc o RAS)	144
6.3.9. Infraestructura para producción de animales de ceba II (estanques, jaulas, tanques de biofloc o RAS)	144
6.3.10. Infraestructura para futuras reproductoras para venta	144
6.3.11. Infraestructura para futuros reproductores para venta	145
6.3.12. Infraestructura para producción de hembras de reemplazo	145
6.3.13. Infraestructura para producción de machos de reemplazo	145
6.4. Consumos	146
6.4.1. Consumo promedio reproductores (sumatoria ♀ y ♂)	146
6.4.2. Consumo larvas	146
6.4.3. Consumo poslarvas	146
6.4.4. Consumo promedio alevinos	147
6.4.5. Consumo promedio dedinos (solo para trucha)	147
6.4.6. Consumo promedio juveniles	147
6.4.7. Consumo promedio ceba I	148
6.4.8. Consumo promedio ceba II	148
6.4.9. Consumo promedio reproductores para venta (sumatoria consumo ♀ y ♂ para venta)	148
6.4.10. Consumo promedio ♀ y ♂ de reemplazo (sumatoria)	149
6.5. Flujograma para los lotes en las diferentes fases de vida	149
6.6. Aplicación práctica de programación: ejercicio	152
6.6.1. Reproductoras requeridas para los diferentes objetivos de producción	153
6.6.2. Distribución de la población en lotes e inventario (stock) de animales en granja	160
6.6.3. Infraestructura para las diferentes fases de vida	165
6.6.4. Consumo de alimento en las diferentes fases de vida	172
6.6.5. Flujograma para los lotes en las diferentes fases de vida	175
7. Evaluación económico-financiera	181
7.1. Análisis económico	182
7.1.1. Consideraciones previas al ejercicio de costeo	182

7.1.2. Metodología para en análisis económico en producción piscícola.....	186
7.2. Evaluación financiera	193
7.2.1. Valor presente neto (VPN).....	194
7.2.2. Tasa Interna de Retorno (TIR).....	194
7.3. Aplicación práctica	195
7.3.1. Definición técnica, productiva y económica	195
7.3.2. Resumen técnico por etapas	197
7.3.3. Resumen evaluación de alimento e índices	198
7.3.4. Activos fijos (Instalaciones y equipos)	199
7.3.5. Materiales y materias primas	203
7.3.6. Mano de obra	205
7.3.7. Gastos operacionales.....	205
7.3.8. Análisis por centros de responsabilidad	206
7.3.9. Discriminación de los costos por centro de responsabilidad y/o utilidad.....	208
7.3.10. Flujo de fondos.....	213
7.3.11. Evaluación financiera	214
7.3.12. Análisis de sensibilidad.....	214

8. Algunos valores productivos y reproductivos de referencia para la programación de una granja piscícola (guía)

8.1. Mortalidad	215
8.2. Densidad.....	217
8.3. Alimentación.....	220
8.4. Parámetros reproductivos	223

9. Glosario

225

10. Referencias bibliográficas.....

231

Índice de tablas

Tabla 1.	Solubilidad del oxígeno (mg/l) en función de la temperatura y la salinidad	24
Tabla 2.	Presión del vapor de agua en función de diferentes temperaturas.....	31
Tabla 3.	Factores para multiplicar el OD medido de acuerdo a la presión atmosférica y a la altura sobre el nivel del mar	32
Tabla 4.	Porcentaje (%) de amonio no-ionizado (NH ₃) a varias temperaturas y pH.....	44
Tabla 5.	Clasificación de las aguas por el grado de dureza según Boyd (1990).....	49
Tabla 6.	Rangos de concentraciones aceptables para sustancias inorgánicas disueltas en estanques acuícolas.....	50
Tabla 7.	Consumo de oxígeno para peces de aguas cálidas.....	69
Tabla 8.	Consumo de oxígeno para cachama blanca (<i>Piaractus brachypomus</i>).....	71
Tabla 9.	Regresiones para cálculo de consumo de oxígeno en tilapias	73
Tabla 10.	Resumen sobre capacidad (número animales) según referencia para el ejemplo realizado.....	75
Tabla 11.	Solubilidad de oxígeno a diferentes temperaturas y presiones atmosféricas.....	75
Tabla 12.	Límites de toxicidad del amoniaco para trucha arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).....	82
Tabla 13.	Resumen sobre parámetros productivos para el desarrollo de cálculo de caudal sin y con reutilización de agua	87
Tabla 14.	Resumen resultados sobre cálculo de caudal sin reutilización de agua, con reutilización de agua y carga reajustada con base en caudal total.....	93
Tabla 15.	Promedio de evaporación por regiones en Colombia.....	97

Tabla 16.	Pérdidas por infiltración según el tipo de suelo.....	99
Tabla 17.	Sugerencia de tasa de alimentación diaria y frecuencia alimenticia para varios tamaños de tilapia a 28 grados.....	106
Tabla 18.	Tasa de alimentación sugerida y frecuencia para tilapias a diferentes temperaturas.....	107
Tabla 19.	Valores de K, n y m para truchas según la temperatura.....	112
Tabla 20.	Coefficiente de crecimiento térmico de trucha arco iris, tilapia y carpa común	118
Tabla 21.	Parámetros de peso y duración fases de vida (Tabla 24) y ganancia peso día (g) para tilapia	123
Tabla 22.	Parámetros productivos a tener en cuenta para el desarrollo del ejercicio de aplicación	153
Tabla 23.	Densidades de siembra recomendadas para trucha	217
Tabla 24.	Densidad, peso y duración de fases de vida en tilapia.....	217
Tabla 25.	Densidad, peso y duración de fases de vida en cachama.....	218
Tabla 26.	Recomendaciones sobre manejo en reversión de larvas de tilapia.....	219
Tabla 27.	Caracterización de las etapas de cultivo en tilapias.....	219
Tabla 28.	Caracterización de las etapas de cultivo en cachamas.....	219
Tabla 29.	Tabla de alimentación para truchas	220
Tabla 30.	Sugerencias de alimentación para cachama.....	221
Tabla 31.	Crecimiento en peso y talla de alimentación de la cachama. Guía para su cultivo semiintensivo con alimento comercial del 45, 38, 32 y 24% de proteína.....	222
Tabla 32.	Tabla de alimentación peces	222

Índice de figuras

Figura 1.	Estimación porcentaje de saturación de ODrecalculado con base en temperatura del agua y la altura sobre el nivel del mar.....	34
Figura 2.	Principales gastos y pérdidas de oxígeno en estanques piscícolas.....	38
Figura 3.	Consumo de oxígeno para trucha arcoíris.....	58
Figura 4.	Efecto de la concentración de oxígeno sobre los peces de aguas cálidas.....	69
Figura 5.	Curva de consumo de oxígeno para peces de diferentes pesos a 18°C.....	72
Figura 6.	Evaporación total anual (mm). Promedio multianual (1981 – 2010).....	95
Figura 7.	Interacciones del clima que favorecen la evaporación	96
Figuras 8.	Ilustración de flujograma para diferentes fases de vida en una especie piscícola	149
Figura 9.	Ilustración de flujograma para diferentes fases de vida en una especie piscícola	150
Figura 10.	Ilustración de flujograma (detalle) para lotes de incubación y de larva-poslarvas	175
Figura 11.	Ilustración de flujograma (detalle) para lotes de alevino-juvenil	176
Figura 12.	Ilustración de flujograma (detalle) para lotes de ceba I	177
Figura 13.	Ilustración de flujograma (detalle) para lotes de ceba II	178
Figura 14.	Ilustración de flujograma (detalle) para lotes de hembras y machos (♀ y ♂)de reemplazo	179

Manual de cálculos, estimaciones y consideraciones básicas para granjas piscícolas.

Mónica Botero Aguirre, Alejandro Velásquez Martínez, Juan Carlos Gómez Jaramillo, Dursun Barrios Hernández.

Medellín: Fondo Editorial Biogénesis, Año 2022.

Número de páginas: 236

ISBNe: 978-628-7592-41-4

Introducción. Parámetros fisicoquímicos del agua: valores de referencia y consideraciones.

Cálculos relacionados con el consumo de oxígeno. Cálculo de caudales. Cálculos de alimentación. Programación de una granja piscícola. Evaluación económico-financiera.

Algunos valores productivos y reproductivos de referencia para la programación de una granja piscícola (guía). Glosario.



Introducción

A nivel mundial, y desde hace varias décadas, la piscicultura se ha convertido en una fuente alternativa y económica de proteína animal. Esta ayuda a garantizar la seguridad alimentaria de la población pues representa un componente nutricional crucial en países altamente poblados en los que los niveles de ingesta de proteína suelen ser muy bajos (FAO, 2014). La industria pesquera, que desde hace un tiempo realizaba el principal aporte de productos acuícolas en el mundo, viene declinando continuamente, por lo que el cultivo de especies tiene en la actualidad un mayor impacto (Espinal et al., 2006). Esto se debe a una cadena de factores: la extracción estimada del medio marino, que esperaba alcanzar un promedio de 100 millones de toneladas anuales, no se ha podido lograr y, debido al exceso de capturas para las diversas especies, el potencial de extracción cada vez disminuye más (FAO, 2014). La demanda de productos marinos sigue aumentando y al elevarse la población mundial y el consumo *per cápita* de estos, sumado al decrecimiento de la producción del medio natural, se hace necesario aumentar el cultivo de especies acuí-

colas (Stickney, 2009). La sostenibilidad ambiental de la acuicultura, así como el rápido crecimiento de la industria de los alimentos para animales en las últimas tres décadas (en promedio 8,3%), puede causar un impacto negativo en los ecosistemas acuáticos, trayendo como resultado un incremento en la producción de materia orgánica (FAO, 2014).

Colombia no es ajena a la dinámica del sector, en 2017 creció 10,2% en comparación al año anterior con una producción de 120.230 toneladas (Pardo-Carrasco et al., 2018). De igual forma, la captura de peces en su medio natural ha disminuido en el país (Espinal et al., 2006). En la última década la producción acuícola ha tenido una tasa de crecimiento anual del 8,5% (AUNAP, 2014).

Aunque el incremento de la piscicultura en Colombia es notable, cuando se compara con el crecimiento de la economía nacional resulta inferior incluso frente al de países limítrofes con condiciones de producción similares. Honduras y Ecuador, por ejemplo, presentan incrementos para la tilapia de 30 y 29% respectivamente, mientras que en Colombia el incremento para la misma especie ha sido del 5,2%. Respecto a otras especies de interés comercial, la cachama también ha tenido buenos índices de crecimiento económico, siendo de alrededor del 9% anual. Sin embargo, esta tasa es baja si se compara con otros países productores de la especie, ya que Brasil y Venezuela vienen presentando incrementos del 20% anual. Aun así, Colombia se sigue ubicando como el segundo productor a nivel mundial de cachama. La trucha presenta una situación distinta a la de las demás especies, pues ha tenido un crecimiento negativo del -1,3%, lo cual resulta perjudicial si se toma en cuenta que los países del hemisferio vienen demostrando incrementos anuales por encima del 10%. A diferencia de las otras dos especies cultivadas en el país, un gran volumen de la trucha producida se destina a los mercados internacionales (Espinal et al., 2006).

Existen también otros problemas esenciales asociados al incremento en la producción, entre ellos, la sobreutilización o la subutilización de los recursos hídricos y de las infraestructuras de producción. Esto puede deberse a la falta de modelos y métodos de utilización factibles por parte de piscicultores con mediano o escaso nivel de conocimientos, pues se dificulta la programación racional y óptima de sistemas de producción eficientes para el aprovechamiento de los distintos recursos ambientales, económicos y físicos (Espinal et al., 2006).

Por lo anterior, se hace necesario mejorar los parámetros de mayor relevancia en la producción piscícola, tales como las concentraciones o valores óptimos de los factores fisicoquímicos del agua; el cálculo del consumo de oxígeno, del caudal requerido y del recambio (%) de agua (Coche y Van der Wal, 1981) y las áreas y espacios requeridos de acuerdo a la densidad, la especie, la talla y el flujo de programación. Finalmente, es pertinente perfeccionar los cálculos de consumo de alimento para, con criterios técnicos, llegar a la evaluación financiera de un proyecto piscícola que considere aspectos económicos y administrativos manejados a través de centros de costos y flujo de fondos para obtener el punto de equilibrio, el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR) y un análisis de sensibilidad. Todo esto con miras a garantizar una excelente planificación que asegure la rentabilidad del proyecto acuícola.

El éxito o fracaso de una granja acuícola está marcado por el acierto o desacierto en la elección de la fuente de abastecimiento de agua, por lo que adquieren gran importancia datos como la cantidad de agua en las diferentes épocas del año y la calidad física, química y biológica de la misma (Wheaton, 1982). Al conocer las condiciones del cuerpo de agua se puede determinar un volumen de producción; sin embargo, es importante recordar que antes debe hacerse el cálculo del caudal de agua necesario para la piscifactoría, así como asegurar un óptimo aporte de

oxígeno para la respiración de los peces y sus diversas actividades metabólicas, así como la adecuada eliminación del amoníaco excretado, de los restos sólidos del alimento balanceado, de las heces, etc.

El caudal se estima con base en los niveles más críticos que se presentan durante el año y teniendo en cuenta factores como la biomasa máxima esperada y las temperaturas extremas que puedan llegar a presentarse. Por otro lado, siempre se deben programar los lotes en producción considerando un caudal similar durante todo el año (Jover et al., 2003; Naylor et al., 2000).

Ajustar cargas permite valorar adecuadamente la capacidad de la granja piscícola y proyectar su nivel de producción, disminuir el riesgo de mortalidad, evitar el lucro cesante, aprovechar el potencial productivo de la especie en cada fase de vida y programar la producción estacionariamente (producción de invierno y de verano). Para calcular la carga en una granja piscícola, partiendo de la biomasa, se debe considerar el número de lotes por fase productiva. Es necesario tener en cuenta que a mayor densidad mayor recambio, lo que puede disminuir la temperatura. Resulta importante realizar los cálculos basándose en peso promedio/lote/periodo y densidad promedio/periodo, así como conocer los inventarios de la granja para cada fase de vida y en total, de acuerdo con el flujograma de la programación de producción.

En el establecimiento de lotes (Jover y Pérez, 1996) se presentan ventajas e inconvenientes al decidirse por una cantidad grande o pequeña de estos. Por ejemplo, el manejo de la instalación se hace más complejo a medida que el número de lotes aumenta, pero se mejora la eficacia del trabajo al estar más repartido a lo largo del año, se reducen las necesidades de las instalaciones y se facilita la comercialización del producto (Jover et al., 2003).

Una vez se ha determinado el número de lotes, se debe establecer el “plan de producción” para cada uno de ellos. En primer lugar, hay que estimar o considerar el crecimiento teórico de los peces para determinar la biomasa de los animales en cada uno de los meses y, en función de las densidades admisibles y el tamaño de los estanques, calcular el volumen de agua y el número de estanques necesarios para la producción de un lote.

Al analizar lo anterior se pueden resumir las ventajas que se presentan cuando se consideran los diferentes aspectos mencionados:

- El monitoreo constante sobre la temperatura y el oxígeno disuelto (OD) del agua permite realizar un mejor control del caudal requerido y de la alimentación necesaria para evitar desperdicios o subalimentación, pues pueden desmejorar la conversión final del lote o acarrear otros problemas al ocasionar un impacto negativo sobre las propiedades del agua y así elevar la mortalidad (Gandhi, 2012).
- Tener la estimación del caudal facilita la realización de una proyección más exacta sobre la biomasa total apropiada, lo que permite evitar la subutilización o sobreutilización de la infraestructura y del agua.
- La correcta proyección y planificación puede asegurar una producción constante para obtener ingresos durante todo el año.
- Una programación acertada de los espacios requeridos en las diferentes etapas productivas garantiza un mejor aprovechamiento de las instalaciones de la piscifactoría.
- Los puntos anteriores concurren en la eficiencia productiva y ambiental de un proyecto piscícola, siendo esta la base fundamental para transformar las piscícolas en empresas más competitivas en el mercado nacional y fortalecer el renglón acuícola a nivel nacional e internacional.

El manual que se presenta a continuación toma en cuenta los procedimientos que se plantean para cada uno de los aspectos mencionados. Va dirigido a la comunidad académica de estudiantes de zootecnia y programas afines, tecnólogos especializados y a productores de pequeña y mediana escala, entre otros. Su propósito es orientar a productores actuales y potenciales a evaluar, reevaluar, actualizar y prever su real capacidad productiva, evitando el deterioro ambiental e incrementando la posibilidad de obtener los mejores rendimientos económicos a través de valoraciones técnicas y económicas de acuerdo a su mercado de influencia. De igual forma, pretende brindar algunos conceptos sobre los factores que inciden en la calidad del agua y que afectan la producción (Capítulo 2), así como las bases generales necesarias para realizar de forma integral los cálculos básicos de consumo de oxígeno (Capítulo 3) y los cálculos de caudales para diferentes especies y fases de vida, demostrando con ejemplos cómo deben hacerse los procedimientos matemáticos que en general no se encuentran en la literatura. Así mismo, presenta varias maneras de calcular los consumos de oxígeno, la cantidad de alimento, etc., según diferentes autores.

Los ejemplos de desarrollo de algunas fórmulas que requieren cálculos en los capítulos 4 y 5 son producto del ejercicio académico de los autores, lo mismo ocurre con los ejemplos y métodos de los capítulos 6 y 7, los cuales abordan la programación técnica y la proyección financiera de una granja acuícola respectivamente. En ellos se suministran todos los aspectos a tener en cuenta para valorar una granja piscícola, permitiendo estimar su factibilidad con un modelo muy aproximado.

Se espera que el contenido del manual sirva de consulta y sea un referente para los estudiantes, considerando que esta metodología les permitirá conocer paso a paso los cálculos requeridos para hallar el caudal

a suministrar en una piscícola de acuerdo a su nivel productivo y a sus objetivos de producción. Esto resulta pertinente pues la bibliografía al respecto es escasa, no se centra en ejercicios de manera detallada y no suministra los protocolos que acá se entregan.

De igual manera, en la literatura existente no hay información sobre programación técnica y proyección financiera de una estación piscícola y si acaso se menciona, no es desarrollada como un paso a paso que permita entender cómo se llega a los resultados en cuanto a los reproductores requeridos para los diferentes objetivos de producción; los números de módulos o lotes requeridos para cada fase de vida; los cálculos para infraestructura, equipos y alimentación o la gráfica de los módulos o lotes en el flujograma. Lo anterior se ve complementado en este documento con la proyección financiera para la misma granja, donde podrá aprender a hacer el análisis de marginalidad, el flujo de fondos, el VPN, la TIR y el análisis de sensibilidad financiera.

El manual presenta ejemplos que permiten desarrollar hasta el final los ejercicios en cuanto a consumo de oxígeno y cálculo de caudales y programación y proyección financiera, información que difícilmente está consignada en un mismo texto. La metodología propuesta por los autores, que puede llevarse a cabo con los modelos y talleres paso a paso que se presentan, constituye una guía y herramienta de apoyo académico para estudiantes de áreas del sector pecuario que pretendan profundizar en cálculos ajustados. El manual brinda opciones encaminadas al mejoramiento de la actividad acuícola a través de la optimización del consumo de agua y la programación de la producción, con el fin de mejorar el desempeño ambiental de las piscícolas en el marco del plan nacional de desarrollo de la acuicultura sostenible (Corantioquia-Actúa-CNPML, 2016).

Este manual no es producto de investigaciones desarrolladas sino de experiencias docentes y académicas obtenidas a través del ejercicio pedagógico en el área. El manual tampoco pretende hacer aportes a la comunidad científica de mayor estatus, pero permite aproximarse con mayor rigurosidad a la estimación de algunos aspectos fundamentales en la producción que posiblemente no sean de común uso en el medio, pero sí útiles y más seguros.

2

Parámetros fisicoquímicos del agua: valores de referencia y consideraciones

El agua es, por diversas y evidentes razones, el factor de mayor relevancia en la acuicultura. De su calidad depende en gran medida el éxito del cultivo, por lo que se hace necesario considerar todos los parámetros que giran en torno a ella para poder determinar la viabilidad de su uso. Así, resulta imperativo conocer su calidad cuantitativa y cualitativa, pues estas determinan la posibilidad de realizar el cultivo de peces y definir la magnitud.

La calidad del agua incluye todos los factores físicos, químicos y biológicos que inciden en cómo debe ser el uso del recurso hídrico tomando en cuenta que sus condiciones se encuentran en constante transformación. Estos cambios suelen conocerse como la dinámica de cambio en el agua, la cual debe ser comprendida para poder manejar efectivamente un sistema de agua (Vinatea, 2004).

La complejidad en el manejo del cuerpo de agua radica en que un solo factor fuera de los rangos tolerables para una

determinada especie, generará una situación de estrés que podrá llevar a los animales a unas condiciones de salud y crecimiento mínimas. De no realizarse un control adecuado, es probable que se presente un bajo crecimiento de los animales o incluso la mortalidad de los peces.

Por ello es necesario tener la suficiente información sobre un determinado cuerpo de agua, comenzando por la cantidad y los aforos del mismo (idealmente por lo menos durante cinco años) y prestando especial atención a los caudales mínimos o máximos disponibles que se presenten en los meses más críticos para efectos del diseño de la presa.

Por otro lado, es necesario conocer si existe una alteración o uso anterior de la fuente de agua por otros sistemas productivos, ya que cuando otras empresas agrícolas o industriales usan la misma fuente de agua pueden encontrarse materiales contaminantes en el medio, lo que requerirá tratar el agua antes de utilizarla o descartar dicha fuente para el montaje de alguna piscifactoría. Adicionalmente, se debe realizar un aforo fisicoquímico del medio para identificar qué especies acuícolas son aptas para las condiciones del medio y obtener el mayor beneficio posible, seleccionando la especie más tolerante y de mejor crecimiento para dichas condiciones.

Son varios los elementos que definen la calidad de un cuerpo de agua. Sin embargo, hay unos cuantos que tienen mayor relevancia por presentar una dinámica de cambio más alta. A estos se les debe realizar un monitoreo constante para evitar situaciones extremas en un determinado cultivo, pues de no ser controladas pueden traer graves consecuencias. Entre los aspectos físicos más importantes están la temperatura y la turbidez; en cuanto a los factores químicos, son de gran importancia la concentración de algunos gases disueltos, el pH, la dureza, la alcalinidad, la salinidad y la presencia de algunos metales (Bostock, 2009; Corantioquia-Actúa-CNPML, 2016).

2.1. Factores físicos del agua

2.1.1. Temperatura

Junto al oxígeno, la temperatura es tal vez el factor más importante a considerar en las granjas piscícolas. Al ser poiquiloterms, los peces poseen una temperatura corporal similar a la del medio en que se encuentran. Este parámetro ejerce una gran influencia sobre la maduración gonadal, el tiempo de incubación, la eclosión, el crecimiento y la actividad metabólica. Además, tiene un efecto sobre la concentración de oxígeno en el medio, los productos metabólicos y el tiempo y grado de descomposición de los materiales depositados en el fondo de los estanques (Blanco, 1995). Así, la temperatura tiene un efecto profundo sobre el crecimiento, la tasa de alimentación y el metabolismo de los animales (Vinatea, 2004). En el caso del metabolismo, es tal el efecto que ejerce este parámetro que los procesos metabólicos en los peces, y su consumo de OD, se duplican por cada 18 grados Fahrenheit de incremento en la temperatura del agua (Summerfelt, 2000). En general, el rango metabólico disminuye mientras la temperatura baja y se incrementa al elevarse la temperatura por encima del nivel óptimo para una especie dada. Por encima de la temperatura ideal, el rango metabólico se sigue incrementando y la energía empieza a destinarse en mantenerlo en vez de utilizarse para el crecimiento. Cuando la temperatura es baja, el metabolismo se reduce y la actividad alimentaria declina hasta detenerse por completo (Stickney, 1979).

La elección de una determinada especie a cultivar se debe basar en estudios previos sobre sus requerimientos de temperatura (Stickney, 1979). Existen especies que toleran diferentes temperaturas, pero que sobreviven y crecen mejor si se encuentran en un rango determinado. Incluso dentro de una misma especie se requieren rangos de tempera-

tura diferentes para las distintas etapas fisiológicas. Tal como lo describe Haskell (1955), la temperatura más adecuada para la producción de carne en la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) es de 15°C, lo que se conoce como la temperatura ambiental estándar (SET). El índice de crecimiento óptimo disminuye en un 8,25% (Blanco, 1995) por cada grado centígrado por debajo del SET; sin embargo, las temperaturas óptimas de desove e incubación de esta misma especie se encuentran entre los 10 y 12°C (Blanco, 1995). La decisión de cultivar una especie que normalmente sobrevive a temperaturas más frías o cálidas obligará a realizar correctivos como enfriar o calentar el cuerpo de agua para evitar mayor estrés en los animales, pero generará un gasto elevado que posiblemente haga inviable la producción.

La temperatura también tiene efectos sobre la regulación de gases disueltos en el agua. A menor temperatura existe una mayor solubilidad de gases y por lo tanto se suele presentar una mayor concentración de oxígeno en aguas frías que en cálidas. Por otro lado, la concentración de dichos gases también varía según la capa o la zona en la columna de agua (Tabla 1).

Tabla 1. Solubilidad del oxígeno (mg/l) en función de la temperatura y la salinidad

Temperatura (°C)	Salinidad (‰)								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
0	14,6	14,1	13,6	13,2	12,7	12,3	11,9	11,5	11,1
1	14,2	13,7	13,2	12,8	12,4	11,9	11,5	11,2	10,8
2	13,8	13,3	12,9	12,4	12,0	11,6	11,2	10,9	10,5
3	13,4	13,0	12,5	12,1	11,7	11,3	11,0	10,6	10,2
4	13,0	12,6	12,2	11,8	11,4	11,0	10,7	10,3	10,0
5	12,7	12,3	11,9	11,5	11,1	10,8	10,4	10,1	9,8
6	12,4	12,0	11,6	11,2	10,9	10,5	10,2	9,8	9,5
7	12,1	11,7	11,3	11,0	10,6	10,3	9,9	9,6	9,3
8	11,8	11,4	11,0	10,7	10,4	10,0	9,7	9,4	9,1

Temperatura (°C)	Salinidad (‰)								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
9	11,5	11,1	10,8	10,4	10,1	9,8	9,5	9,2	8,9
10	11,2	10,9	10,5	10,2	9,9	9,6	9,3	9,0	8,7
11	11,0	10,6	10,3	10,0	9,7	9,4	9,1	8,8	8,5
12	10,7	10,4	10,1	9,8	9,5	9,2	8,9	8,6	8,3
13	10,5	10,2	9,8	9,5	9,2	9,0	8,7	8,4	8,2
14	10,2	9,9	9,6	9,3	9,1	8,8	8,5	8,2	8,0
15	10,0	9,7	9,4	9,1	8,9	8,6	8,3	8,1	7,8
16	9,8	9,5	9,2	9,0	8,7	8,1	8,2	7,9	7,7
17	9,6	9,3	9,0	8,8	8,5	8,3	8,0	7,8	7,5
18	9,4	9,1	8,9	8,6	8,3	8,1	7,9	7,6	7,4
19	9,2	8,9	8,7	8,4	8,2	7,9	7,7	7,5	7,3
20	9,0	8,8	8,5	8,3	8,0	7,8	7,6	7,3	7,1
21	8,9	8,6	8,3	8,1	7,9	7,6	7,4	7,2	7,0
22	8,7	8,4	8,2	8,0	7,7	7,5	7,3	7,1	6,9
23	8,5	8,3	8,0	7,8	7,6	7,4	7,2	6,9	6,7
24	8,4	8,1	7,9	7,7	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6
25	8,2	8,0	7,7	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,5
26	8,0	7,8	7,6	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	6,4
27	7,9	7,7	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,5	6,3
28	7,8	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,6	6,4	6,2
29	7,6	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	6,5	6,3	6,1
30	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,5	6,3	6,2	6,0
31	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	6,4	6,2	6,1	5,9
32	7,2	7,0	6,9	6,7	6,5	6,3	6,1	6,0	5,8
33	7,1	6,9	6,7	6,6	6,4	6,2	6,1	5,9	5,7
34	7,0	6,8	6,6	6,5	6,3	6,1	6,0	5,8	5,6
35	6,9	6,7	6,5	6,4	6,2	6,0	5,9	5,7	5,6
36	6,8	6,6	6,4	6,3	6,1	5,9	5,8	5,6	5,5
37	6,7	6,5	6,3	6,2	6,0	5,8	5,7	5,5	5,4
38	6,6	6,4	6,2	6,1	5,9	5,8	5,6	5,5	5,3
39	6,5	6,3	6,1	6,0	5,8	5,7	5,5	5,4	5,3
40	6,4	6,2	6,0	5,9	5,7	5,6	5,5	5,3	5,2

Fuente: Boyd y Tucker (1998)

En algunos casos, cuando se presentan lagos profundos, existe una mayor concentración de oxígeno y otros gases en la superficie del agua debido al proceso fotosintético; mientras que en las zonas más profundas, donde no llegan por completo los rayos del sol, existe una menor concentración de gases. Además, la materia orgánica que cae al fondo y que se encuentra en proceso de descomposición también involucra un consumo de oxígeno y, dado que estas zonas presentan una menor temperatura, la descomposición de la materia orgánica ocurre más lentamente, lo cual hace que sea una zona con depleción constante de oxígeno (Boyd, 1990b). Las aguas superficiales son más livianas debido a la mayor temperatura y las zonas a las que no llegan los rayos del sol, donde ocurre en menor grado la fotosíntesis, forman una capa inferior más fría y densa. En determinadas circunstancias se puede alterar la barrera termoclina que separa dichas capas y mezclar el agua rica en oxígeno con la del fondo, lo cual puede provocar una fuerte depleción de oxígeno si la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es muy alta (Stickney, 1979; Blanco, 1995; Corantioquia-Actúa-CNPML, 2016).

2.1.2. Turbidez

Los sólidos suspendidos involucran la materia en partículas mayores de 0,45 μm que se encuentran flotando en la columna de agua. Se componen de las partículas de sedimento, la materia orgánica (detritus de restos animales y vegetales, desperdicios, partículas de comida y materia fecal) y de células fitoplanctónicas y otros microorganismos (Stickney, 1979).

La turbidez por fitoplancton y zooplancton no suele ser peligrosa para los peces, aunque se presentan ocasiones en que la misma población de plancton forma una capa densa que impide el proceso fotosintético en las capas inferiores (Stickney, 1979). El fitoplancton produce la fuente de oxígeno para el estanque y capta compuestos peligrosos para los peces

(como el amonio) y los utiliza como nutrientes. Por otro lado, es una fuente de alimento para el zooplancton y algunas especies de cultivo de carácter filtrador, constituyéndose en un alimento muy nutritivo para las larvas de peces. Aun así, se debe procurar no tener poblaciones desbalanceadas de plancton que puedan causar una baja en la producción de oxígeno o, por otro lado, tener cuidado con los excesos de poblaciones como en el caso que se presenten los denominados “*blooms*” planctónicos que al descomponerse tienen una alta demanda de oxígeno (APHA, 1983).

La productividad primaria del estanque se suele medir para analizar si las poblaciones de plancton son adecuadas, lo que a su vez ayuda a definir si se presenta suficiente concentración de oxígeno. Un instrumento sencillo para medir la productividad a nivel de campo se conoce como disco Secchi. Este instrumento consiste en un disco con cuadrantes alternas pintadas de blanco y negro sujeto a una cuerda o a una vara calibrada, con el objetivo de sumergir el disco y saber hasta qué profundidad se hacen visibles las pinturas blanca y negra. La medida se estima a partir de la longitud a la cual el disco deja de ser visible al sumergirlo en la columna de agua. Se considera que una profundidad de 30-45 cm indica población saludable y por lo tanto no debe haber problema de oxígeno en el agua. Si la medida está por debajo de 30 cm esto indica que la población fitoplanctónica es excesiva y puede presentarse una mortalidad de peces en el estanque, por lo que se recomienda tomar el correctivo necesario para controlar su exceso. Cuando la medición está por encima de los 45 cm existe una población escasa de plancton y se debe abonar el estanque para aumentar la población fitoplanctónica en el agua, de acuerdo a la especie y a la fase productiva.

Los desechos pueden llegar a ser un verdadero problema para los estanques. Como regla general, por cada kilogramo de pez producido se ge-

nera un kilogramo de desechos. Estos no se deben acumular en el agua ya que pueden llegar a contener hasta el 70% del nitrógeno disponible en el medio y en concentraciones altas ocasionan problemas de irritabilidad en las branquias, lo cual estresa a los peces. Además, el exceso de desechos puede fomentar el crecimiento de bacterias que producen amonio y traer más problemas al estanque (APHA, 1983).

Los problemas de turbidez por sedimentos normalmente se presentan debido a la erosión de la tierra de los diques adyacentes a los estanques o por la actividad de las especies de fondo (Stickney, 1979). Concentraciones o niveles de turbidez de más de 20.000 ppm pueden traer problemas a los peces (Swann, 1997). Cuando hay un exceso de turbidez por arcilla u otras partículas de suelo se reduce la fotosíntesis y se puede ocasionar la sofocación de los huevos de los peces y la destrucción de comunidades benéficas del fondo del estanque. La excesiva turbidez se corrige aplicando insumos que se unan a las partículas negativas de arcilla y formen flóculos suficientemente pesados para precipitarse. Entre los elementos utilizados para hacer dichas correcciones se encuentra por ejemplo el yeso, en cuyo caso se utilizan aplicaciones de 200 a 900 kg/ha con intervalos de entre 7 y 10 días hasta obtener la turbidez deseada (Stickney, 1979).

Por último, según Ramírez y Viña (1998), el material en suspensión provee un área superficial para el crecimiento de hongos y bacterias y puede incrementar el riesgo de patogenicidad en sistemas acuáticos (Cunningham y Klein, 2009). Las partículas en suspensión también pueden absorber y adsorber varios químicos, como los fosfatos, lo que hace menos efectiva la fertilización debido a la escasez lumínica provocada por la densidad excesiva de plancton, la acumulación de partículas en suspensión o la falta de nutrientes (Stickney, 1979).

2.2. Propiedades químicas

2.2.1. Oxígeno

Los organismos acuáticos, como la mayoría de especies terrestres, necesitan oxígeno para poder sobrevivir. Solo algunas especies de peces que cuentan con órganos especializados para captar el gas de la atmósfera pueden sobrevivir en aguas con concentraciones mínimas de oxígeno. A la concentración de dicho gas en el medio acuático se le conoce como oxígeno disuelto (OD) y se mide en mg/l. Este es tal vez el parámetro más importante a tener en cuenta en lo que se refiere al control de la calidad del agua de la piscícola (Stickney, 1979). La importancia de este parámetro radica en que presenta una gran dinámica de cambio, puesto que su concentración puede aumentar o disminuir drásticamente en cuestión de horas o incluso minutos cuando otros factores inciden en la producción o consumo del mismo (Hargreaves y Tucker, 2002). Pese a que una especie cultivada requiere que todos los parámetros de calidad de agua estén dentro de un rango cercano al ideal para obtener buenos rendimientos y evitar condiciones de estrés, el oxígeno es el parámetro con el cual se debe tener más cuidado ya que en la acuicultura es el factor que más pérdidas y mortalidades genera.

Para mencionar algunos de sus efectos se puede tomar por ejemplo el hecho de que una concentración inadecuada ocasiona estrés, vulnerabilidad a enfermedades y posible muerte pues los animales se rehúsan a comer por un largo periodo, incluso después de haberse superado la depleción de oxígeno (Stickney, 1979). Cuando se presenta una concentración baja de oxígeno se reduce el consumo y el aprovechamiento del alimento, lo cual causa problemas en la calidad del agua, afecta el crecimiento de los peces y deteriora la conversión alimenticia haciendo que los animales se encuentren más susceptibles a los ataques bacterianos u otros parásitos; además, cuando los niveles son críticos se genera

mortalidad. Por otro lado, a pesar de no ser muy común, también se presentan problemas por sobresaturación de OD, lo cual puede originar la enfermedad conocida como “el mal de burbujas” que, debido a las altas concentraciones, provoca la formación de burbujas que llegan a los órganos o a la sangre e impiden el paso del gas a los diferentes tejidos provocando la muerte (Vinatea, 2004).

Existen varios factores por los cuales se presentan continuamente problemas en las concentraciones de OD en granjas piscícolas. Para empezar, las mismas propiedades del agua dificultan el paso de dicho gas de la atmósfera a la columna de agua. La incorporación de oxígeno al agua es un proceso lento, ya que este gas no es muy soluble en el agua y el cuerpo de agua tiene una capacidad limitada para retenerlo. Por otro lado, el rango de consumo de OD dentro del ambiente es elevado, pudiéndose dar en muchas ocasiones que el consumo total sea mayor a la producción (Hargreaves y Tucker, 2002).

Para evitar problemas de oxígeno se deben procurar concentraciones cercanas al punto de saturación. La cantidad de oxígeno que puede ser disuelto en el agua bajo condiciones ambientales se conoce como el porcentaje de saturación de oxígeno (Vinatea, 2004). El nivel de saturación de dicho gas en el agua se ve afectado principalmente por la temperatura, la presión atmosférica y la salinidad. A medida que se van incrementando estos factores el agua alcanza el nivel de saturación de oxígeno más rápidamente en comparación a si dichos factores estuviesen más bajos (Stickney, 1979). En aguas templadas o frías las partículas de gas son más estables y por lo tanto se puede alcanzar un porcentaje de saturación más alto que en aguas cálidas. Por otro lado, a mayor altura sobre el nivel del mar menor es la presión atmosférica, dificultando el paso del gas de la atmósfera a la fuente de agua. La salinidad afecta

la concentración de oxígeno dado que, al haber mayor cantidad de solutos en el agua, se disminuye la concentración máxima de este. Boyd y Tucker (1998) presentan la solubilidad del oxígeno a diferentes temperaturas y salinidades a nivel del mar (Vinatea, 2004). Se plantea una fórmula para estimar el oxígeno a diferentes presiones atmosféricas:

$$ODc \text{ (mg/l)} = ODf \text{ (mg/l)} \left(\frac{Po \text{ (mm Hg)} - Pw \text{ (mm Hg)}}{760 \text{ mm Hg} - Pw \text{ (mm Hg)}} \right)$$

Donde:

ODc = Oxígeno disuelto corregido (mg/l)

ODf = Oxígeno disuelto (mg/l) a 760 mm Hg (1 atmósfera de presión)

Po = Presión atmosférica observada (mm Hg)

Pw = Presión del vapor de agua (mm Hg)

Tabla 2. Presión del vapor de agua en función de diferentes temperaturas

T°C	mm Hg	°C	mm Hg	°C	mm Hg
0	4,579	12	10,518	24	22,377
1	4,926	13	11,231	25	23,756
2	5,294	14	11,987	26	25,209
3	5,685	15	12,788	27	26,739
4	6,101	16	13,634	28	28,349
5	6,543	17	14,530	29	30,043
6	7,013	18	15,477	30	31,824
7	7,513	19	16,477	31	33,695
8	8,045	20	17,535	32	35,663
9	8,609	21	18,650	33	37,729
10	9,209	22	19,827	34	39,895
11	9,844	23	21,128	35	42,175

Fuente: Boyd y Tucker (1998)

Ejemplo de desarrollo que ilustra el empleo de la Tabla 2:

¿Cuál será el OD_c (mg/l) si el OD_f se tomó en 7,2 mg/l a una Po de 560 mmHg (2500 msnm) y una temperatura del agua de 13°C?

$$OD_c = 7,2 \text{ (mg/l)} * \left(\frac{560 \text{ mm Hg} - 11,231 \text{ mm Hg}}{760 \text{ mm Hg} - 11,231 \text{ mm Hg}} \right) = 5,28 \text{ mg/l}$$

Interpretación: dadas las condiciones de temperatura y presión atmosférica, la “sensación” de la concentración de OD para los peces será como si el oxígeno del agua estuviera en 5,27 mg/l, lo cual significa condiciones menos deseables dado que al ser tan baja la presión atmosférica existe menor presión para que el oxígeno llegue a las branquias.

Existe otro método para determinar la percepción de la concentración y de la saturación de oxígeno en el cuerpo de agua de acuerdo a la temperatura del agua y al factor de corrección:

Tabla 3. Factores para multiplicar el OD medido de acuerdo a la presión atmosférica y a la altura sobre el nivel del mar

asnm	p. atm (mm Hg)	Factor	asnm	p. atm (mm Hg)	Factor
0	760	1,00	1600	623	1,22
100	750	1,01	1700	615	1,24
200	741	1,03	1800	608	1,25
300	732	1,04	1900	601	1,26
400	723	1,06	2000	594	1,28
500	714	1,06	2100	587	1,30
600	705	1,08	2200	580	1,31
700	696	1,09	2300	573	1,33
800	687	1,11	2400	565	1,34
900	679	1,12	2500	560	1,36
1000	671	1,13	2600	555	1,37
1100	663	1,15	2700	550	1,39

asnm	p. atm (mm Hg)	Factor	asnm	p. atm (mm Hg)	Factor
1200	655	1,16	2800	545	1,41
1300	647	1,17	2900	540	1,43
1400	639	1,19	3000	535	1,45
1500	631	1,20			

Fuente: Roldán y Ramírez (2008)

Ejemplo de desarrollo que ilustra el empleo de la Tabla 3:

Si se toman los elementos del ejercicio anterior (ODf se tomó en 7,2 mg/l a una Po de 560 mmHg (2500 msnm) y una temperatura del agua de 13°C), ¿cuál será el porcentaje de saturación de oxígeno?

A 2500 msnm y con una presión atmosférica de 560 mmHg, el factor de corrección es de 1,36. El OD medido en campo fue de 7,2 mg/l.

OD recalculado (mg/l) = OD medido (mg/l) * Factor de corrección

OD recalculado = 7,2 mg O₂/l * 1,36 = 9,798 mg O₂/l

Se une la línea de temperatura con el valor del oxígeno ajustado con el factor y da una saturación con un valor cercano al 92% (Figura 1).

Interpretación: la saturación del cuerpo de agua es alta debido a la baja presión atmosférica a los 2500 msnm y a la temperatura de 13°C. Esto significa que si se quisiera airear u oxigenar el cuerpo de agua, la capacidad de recibir oxígeno sería menor porque el oxígeno recalculado está cercano a su saturación.

Solubilidad del oxígeno

La producción o incorporación de oxígeno en los cuerpos de agua se da por dos procesos naturales. En primer lugar, existe un aporte de oxígeno mediante la difusión del gas atmosférico en la columna de agua. Este es un proceso lento en el que la capacidad de intercambio, que

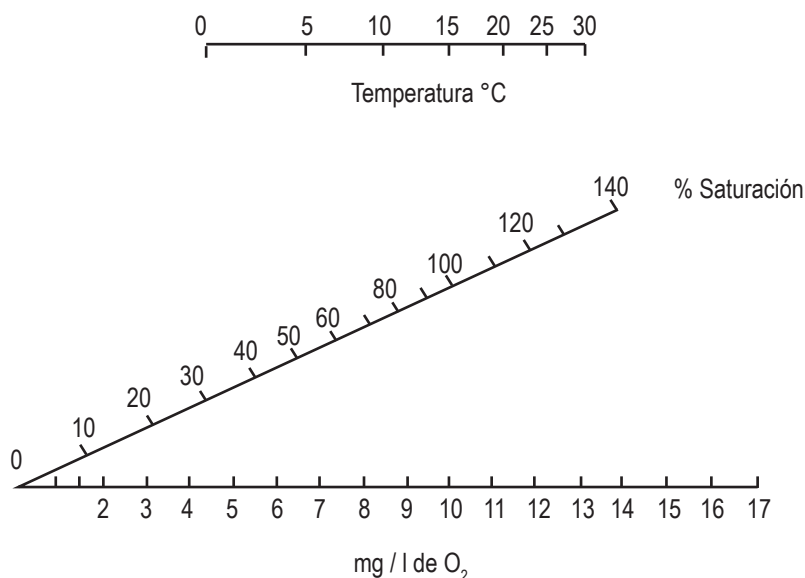


Figura 1. Estimación del porcentaje de saturación de OD recalculado con base en temperatura del agua y la altura sobre el nivel del mar

Fuente: Reid (1966) citado por Roldán y Ramírez (2008)

ocurre en la interfase del aire con el agua, se ve afectada por la concentración del gas en dicho lugar, pudiéndose presentar una mayor tasa de intercambio cuando los niveles están bajos y las concentraciones no están cercanas al punto de saturación. El aporte del gas atmosférico se ve también afectado por el viento y el oleaje, los cuales aumentan la velocidad de intercambio entre ambas capas. El segundo proceso por el cual se brinda oxígeno al medio acuático es mediante la fotosíntesis, por la cual se obtiene la mayor incorporación de OD al sistema acuático. El proceso fotosintético es realizado por fitoplancton, macrófitas, algas bénticas, algas filamentosas y ciertos tipos de bacterias (Stickney, 1979). Su producción se ve afectada por la duración del día y la intensidad lumínica, siendo alta en días despejados y soleados. La incorporación de

OD se da también por otros dos mecanismos: la aireación mecánica y los recambios de agua (Vinatea, 2004).

Existen varios parámetros o condiciones que alteran la concentración de OD en el agua. En lo que se refiere al proceso fotosintético como tal, los organismos fotoautótrofos aportan oxígeno como un producto liberado de la reacción fotosintética de la que obtienen su energía.

Entre las condiciones que disminuyen la concentración de OD, aparte de los aspectos que influyen en el porcentaje de saturación del gas en el agua, está la respiración. Esta es realizada por todos los organismos acuáticos que se encuentran en el estanque, los cuales captan el oxígeno para llevar a cabo sus actividades metabólicas. En condiciones normales la producción de oxígeno durante el día por la actividad fotosintética es elevada y supera el consumo requerido por la respiración de los organismos del medio (Stickney, 1979). Durante la noche, debido a que se ha detenido la actividad fotosintética, cesa la producción de O_2 y, dado que los organismos continúan respirando, la concentración de OD disminuye. En algunos casos, cuando la demanda es muy alta, se originan hipoxias o en los casos más severos anoxias donde hay una depleción total de OD (Stickney, 1979).

Estas situaciones suelen ser un verdadero problema en época de verano cuando se presentan días nublados, pues la alta temperatura existente mantiene un nivel de saturación de oxígeno más bajo. Lo anterior hace que se produzca menos oxígeno mediante el proceso de fotosíntesis (baja intensidad lumínica) incluso cuando existe una demanda de oxígeno más alta (temperaturas altas incrementan las necesidades metabólicas de los peces y por lo tanto el consumo de oxígeno) y una demanda biológica de oxígeno (DBO) elevada. En estas condiciones la producción de oxígeno no alcanza a ser suficiente para que en la noche

se mantenga el equilibrio, por lo que se presenta una concentración de oxígeno reducida que produce estrés en los animales o lleva a que se presente una posible anoxia y ocurra mortalidad de peces (Stickney, 1979). La DBO se refiere al consumo de oxígeno por parte de los microorganismos del medio y tiene un efecto importante sobre el consumo total de oxígeno en el agua. Este consumo puede llegar a ser muy elevado cuando existe población vegetal decadente, exceso de poblaciones autótrofas o cuando ocurren altas mortalidades cuya descomposición tiene una alta demanda de oxígeno (Stickney, 1979). La demanda química de oxígeno (DQO) suele referirse al oxígeno que se requiere para oxidar los compuestos orgánicos, afectando también la concentración del gas en el medio.

Cuando se presenta una deficiencia en la concentración de oxígeno que pueda afectar la salud o la sobrevivencia de los peces ocurren las llamadas anoxias, las cuales causan la sofocación de los peces hasta darse la muerte y representan las principales pérdidas en la piscicultura. Por lo tanto, se recomienda un monitoreo constante de los estanques y contar con oxímetros digitales y precisos que permitan conocer la situación del estanque y evitar pérdidas (Stickney, 2009).

Los principales problemas se presentan cuando hay exceso de detritus y de plancton, poblaciones inadecuadas de plancton o nubosidad (Hepher, 1991). El exceso de materia orgánica ocasionada por mortalidad de fitoplancton, por sobrealimentar o por abonamiento orgánico, fomenta el desarrollo de bacterias heterótrofas que requieren oxígeno para realizar las oxidaciones de la materia orgánica (Hepher, 1991). Cuando se presenta exceso de poblaciones fitoplanctónicas, de algún tipo de algas filamentosas o macrófitas, puede suceder que la capa de algas impida el paso de luz a las capas inferiores del estanque y se disminuya la concentración de oxígeno, dando lugar a hipoxia o anoxia (Stickney, 1979).

Como se ha descrito antes, la nubosidad lleva a que se reduzca la producción de oxígeno mediante el proceso fotosintético y, si ocurre durante largos periodos, puede ocasionar no solo una baja producción de OD, sino una mortalidad de los organismos autótrofos por carencia de nutrientes. Si a esto se le suman vientos leves o nulos, se produce poco ingreso de oxígeno por medio de difusión de la atmósfera y se pueden dar anoxias muy severas con altas mortalidades (Hepher, 1991). En ocasiones puede ocurrir que se presente un incremento masivo de la población zooplanctónica que consume el fitoplancton, reduciéndolo masivamente hasta darse una baja producción de oxígeno. Por ello, en la tarde o en la noche, debido al bajo oxígeno producido durante el día, se da una anoxia que puede ocasionar incluso la mortalidad de dicho zooplancton y recuperarse parte de la población fitoplanctónica al día siguiente (Figura 2).

Por último, pueden darse poblaciones indeseadas de fitoplancton en los estanques por su baja capacidad para producir oxígeno, dándose un mayor riesgo para niveles críticos de oxígeno en comparación a si se tuviesen otras poblaciones de microalgas (Hepher, 1991).

Como ya se había descrito, la estratificación de la columna de agua también ocasiona problemas de hipoxia hasta llegar a una posible carencia total de oxígeno o anoxia.

Debido a la necesidad de tener una adecuada concentración de oxígeno en los estanques, para evitar hipoxias/anoxias que generarían pérdidas para una piscícola es necesario considerar varios aspectos que van desde el tipo de especies a cultivar, hasta los equipos necesarios para un monitoreo adecuado de los parámetros. De igual manera, se debe contar con los recursos y protocolos requeridos para corregir una anoxia en caso de que se llegara a presentar.

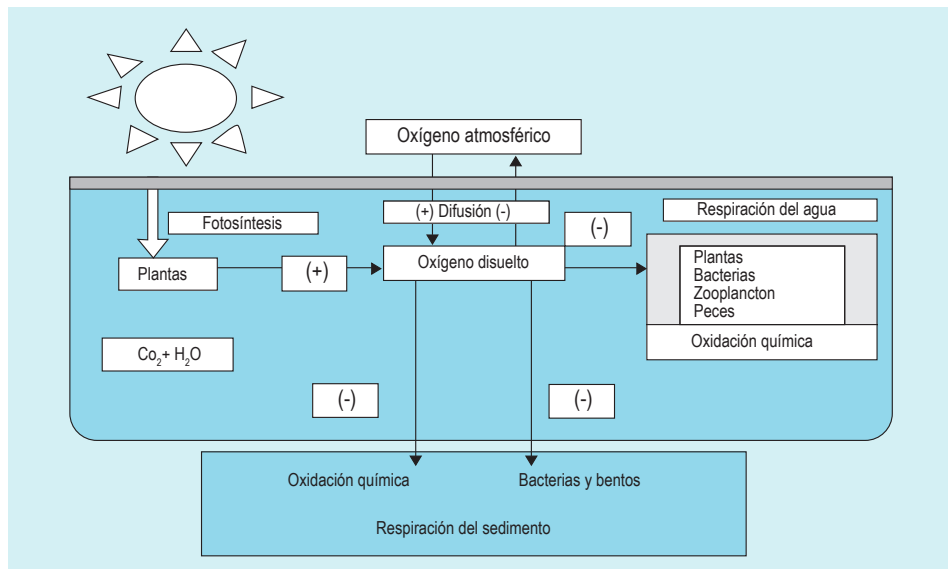


Figura 2. Principales gastos y pérdidas de oxígeno en estanques piscícolas

Fuente: adaptada de Vinatea (2004)

El sistema de cultivo tiene implicaciones sobre el consumo de OD. Es lógico que un sistema extensivo en el que se depende de la productividad primaria de los estanques, que suele ser alta, va a poseer menos problemas por niveles críticos de oxígeno. Además, por la baja densidad existe una menor demanda de OD en comparación con sistemas intensivos o ultra intensivos. Cuando se tienen cultivos extensivos la mejor estrategia es cultivar diferentes especies (policultivos) y, en especial, buscar peces que ocupen diferentes nichos o zonas de la columna de agua y que no compitan por los mismos nutrientes, ya que al ocupar diferentes zonas de la columna de agua generan un gasto más equilibrado del OD en el estanque. En un policultivo ideal se tendrán especies que consuman diferentes tipos de alimentos para mantener un equilibrio en el ecosistema (Hepher, 1991). Así, se contará con especies que se alimentan del zooplancton, otras que se alimentan del fitoplancton, otras carnívoras,

etc. Es de considerar que un incremento en el consumo de oxígeno causa condiciones progresivas de anoxia, lo cual puede conducir a la movilización de contaminantes como metales pesados (Zhang et al., 2014).

Cuando se tienen cultivos intensivos y el policultivo no es posible se debe recurrir a medios mecánicos o químicos de aireación. Respecto a los medios mecánicos, se dispone de varios dispositivos que ayudan al ingreso de oxígeno de forma más rápida como bombas, piedras aireadoras, etc., que proporcionan burbujas de aire al agua incorporando así una mayor cantidad de oxígeno. También existen otros dispositivos como los aireadores mecánicos, los cuales producen una agitación fuerte que aumenta el área de contacto entre la interfase aire-agua y fomentan así una difusión más rápida del oxígeno de la atmósfera al agua (Stickney, 1979).

Por otro lado, el control químico de la anoxia es menos eficiente y todavía existen dudas de su utilidad, además puede ser el medio de control más costoso. Como parte de las soluciones químicas se ha utilizado superfosfato simple para ayudar a controlar las anoxias y, aunque no se conoce bien su utilidad, se cree que sirve para aportar fósforo a las poblaciones de microalgas precisamente cuando ha ocurrido alguna mortalidad de la población planctónica debido a una carencia de nutrientes. Otro compuesto utilizado es el permanganato de potasio (KMnO_4) en una proporción de 5 mg/l agua, este oxida la materia orgánica de los estanques y reduce la DBO, evitando la ocurrencia de una depleción de oxígeno (Stickney, 1979). Por último, si se presenta anoxia y no se cuenta con un equipo de aireación mecánica, se pueden realizar recambios de agua.

Es imperativo evitar las anoxias a toda costa, y es por esto que se debe hacer un monitoreo constante de cada uno de los estanques. Lo más recomendable es medir el OD varias veces a lo largo del día. En lo posible,

y si se cuenta con el personal y los equipos necesarios, tomar datos en la madrugada, al mediodía, al finalizar la tarde y en la noche, con el fin de registrar y revisar la dinámica del oxígeno y tratar de estimar cómo será el OD del estanque durante la noche y estar alerta ante este riesgo.

Existen varios métodos para medir la concentración de OD, como las pruebas químicas, que son lentas y poco prácticas en el campo, o los oxímetros digitales. Adicionalmente, existen algunas fórmulas que ayudan a estimar las concentraciones de oxígeno en la mañana para anticiparse a un posible problema de oxígeno. Boyd y Tucker (1998) proponen el siguiente modelo para estimar el oxígeno disuelto al amanecer (Vinatea, 2004):

$$ODa = ODt \pm ODdf - Odf - Odm - DBO$$

Donde:

ODa = OD al amanecer (mg/l)

ODt = OD al atardecer(mg/l)

ODdf = Ganancia o pérdida de oxígeno por difusión (mg/l)

Odf = Oxígeno consumido por los peces (mg/l)

Odm = Oxígeno consumido por lodo (materia orgánica) (mg/l)

DBO = Oxígeno usado por el plancton (mg/l)

Es de anotar que, a nivel de campo y de manera práctica y sencilla, resulta difícil diferenciar, y más aún medir, cuánto oxígeno es consumido por cada variable.

En caso de no poseer un equipo calibrado y preciso para medir el OD, e incluso si se tuviese, lo más práctico es supervisar individualmente los estanques e inspeccionar la etología de los animales. Cuando hay deficiencias de oxígeno en el agua los peces comienzan a subir a la super-

ficie, abriendo constantemente la boca para intentar captar el gas de la atmósfera (Burtle, 2014; Gandhi, 2012). En otros casos, por ejemplo, cuando se tienen cultivos de camarones u otros crustáceos, los animales pueden permanecer en el fondo del estanque aunque la concentración del gas se encuentre en un nivel crítico. Por otro lado, también se puede evaluar indirectamente a través del consumo de alimento, pues si los animales dejan de comer o reducen notablemente el consumo se puede deber a una concentración crítica de OD. Otro aspecto que se puede considerar es la claridad o coloración del agua, un estanque con agua de color pardo oscuro o grisáceo, a veces con olor putrefacto, indica que hubo mortalidad de la comunidad fitoplanctónica. De otra mano, un agua muy clara y transparente indica baja productividad primaria y por lo tanto se debe hacer una corrección para fomentar otra vez el crecimiento del fitoplancton.

En granjas pequeñas se debe considerar que, si no se posee algún instrumento para tomar las medidas, es necesario estar más pendiente en días críticos como los nublados o los de fuertes lluvias en verano que, por los motivos explicados anteriormente, pueden generar gran riesgo dentro del cultivo.

2.2.2. Dióxido de carbono

Este gas es de vital importancia en el medio acuático ya que hace parte de los sistemas tampón, influye en el pH del medio y es necesario para el proceso fotosintético. Se encuentra en el medio por la difusión atmosférica, por los procesos de respiración de los organismos y en algunas aguas provenientes de sustratos con roca caliza. A lo largo del día, el CO₂ libre es captado por las plantas y el fitoplancton para llevar a cabo la fotosíntesis, lo que en parte ayuda a evitar una disminución en el pH. En la noche, con la continua respiración, el pH vuelve a niveles más bajos;

sin embargo, las reservas de iones carbonato y bicarbonato ayudan a mantener el sistema tampón evitando alteraciones drásticas.

Una concentración adecuada para piscicultura está por debajo de los 5 mg/l, niveles por encima de 20 mg/l son considerados altos y pueden traer problemas en la captación del oxígeno (Swann, 1997). Altas concentraciones también pueden provocar que los peces pierdan el equilibrio, el sentido de orientación y, en determinados casos, que se presenten mortalidades (Buttner et al., 1993). Existen dos métodos para remover excesos de CO₂, el primero se utiliza cuando el gas se encuentra en altas concentraciones debido a que el agua se origina de fuentes con piedra caliza (de yacimientos subterráneos) y por tanto se debe someter a aireación previa para remover el exceso del gas. El segundo método es agregar un tampón como carbonato, este transformará el gas libre existente y ayudará a formar compuestos tampón de bicarbonato o carbonato (Swann, 1997).

2.2.3. Nitrógeno

El nitrógeno es requerido por todos los seres vivos, siendo un componente importante de la proteína y otras sustancias bioquímicas. El nitrógeno del agua es removido por los animales como amoníaco, creatina, creatinina, urea, aminoácidos y ácido úrico (Stickney, 1979).

El nitrógeno es el gas que normalmente se puede encontrar más sobresaturado en el agua, generalmente en una concentración por encima del máximo que debe tener. Estas sobresaturaciones provocan lo que se denomina "enfermedad de la burbuja" o "enfermedad de la burbuja de gas", la cual ocurre cuando burbujas llegan al corazón o cerebro de los animales causando mortalidad en los peces. A veces se puede distinguir que el pez murió por dicha enfermedad porque se presentan burbujas

en la piel y ojos. Para evitar sobresaturación de algún gas se debe airear el agua para remover el exceso que pueda haber (Boyd, 1990b).

2.2.4. Amonio

El amonio es producto del desecho de los peces y de los procesos de descomposición de la materia orgánica. En cultivos intensivos, debido a la elevada densidad de peces y al consumo de alimento balanceado, las concentraciones de amonio pueden llegar a ser peligrosas como consecuencia del metabolismo proteico (Blanco, 1995). Una exposición de los peces a concentraciones elevadas de amoniaco puede resultar en crecimiento reducido, baja resistencia y muerte (Stickney, 1979). Además, la toxicidad por amonio trae secuelas sobre la excreción, la respiración, la osmorregulación y el crecimiento de los peces (Vinatea, 2004).

Existen dos tipos de amonio en el agua, una forma no ionizada (NH_3) que es tóxica para los peces y una forma ionizada (NH_4^+) que es más inofensiva. Kormanik y Cameron (1981) mencionan que el amonio no ionizado es de naturaleza lipofílica y por eso se puede difundir fácilmente por las membranas respiratorias, mientras que la forma ionizada es lipofóbica y por lo tanto su paso es más difícil (Vinatea, 2004), lo que puede explicar que la forma no ionizada sea de carácter más tóxico para los peces. El estado en que el amonio se encuentra en el agua se relaciona con la temperatura, el pH y la fuerza iónica de la solución (Stickney, 1979). Así, mientras la temperatura y el pH se incrementan, se elevan las concentraciones de NH_3 (Tabla 4); Meade (1989) afirma que la forma no ionizada se incrementa 10 veces por cada unidad de pH que aumente el agua (Vinatea, 2004).

Otros factores que inciden en la toxicidad del amonio son el CO_2 en el agua, que, si se encuentra en su forma libre, reduce el valor del pH y

disminuye la toxicidad del NH_3 , teniendo en cuenta la disponibilidad de hidrogeniones (H^+) libres que ionizan el NH_3 . Concentraciones bajas de O_2 aumentan la toxicidad del amoníaco y una tasa alta de bicarbonatos alcaliniza el pH y aumenta secundariamente la toxicidad de dicho ion (Blanco, 1995). Por estos motivos se debe hacer un monitoreo continuo del pH y la temperatura para así conocer las concentraciones existentes de amonio tóxico.

Según Meade (1989), las concentraciones de amonio en el agua son controladas por los procesos de nitrificación. Estos son realizados por diversos grupos de bacterias aeróbicas, como las *Nitrosomonas* que convierten el amoníaco a nitrito y las *Nitrobacter* que llevan a cabo la transformación de nitrito a nitrato. Algunas bacterias pueden convertir dicho nitrato en nitrógeno elemental, el cual escapa del medio como gas (Stickney, 1979).



En determinadas concentraciones el nitrato puede llegar a ser tóxico, pero las poblaciones de peces con niveles de nitrato menores de 4,2 mg/l se mantienen saludables (Stickney, 1979).

Tabla 4. Porcentaje (%) de amonio no-ionizado (NH_3) a varias temperaturas y pH

pH	8°C	12°C	16°C	20°C	24°C	28°C	32°C
7,0	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0
8,0	1,6	2,1	2,9	3,8	5,0	6,6	8,8
8,2	2,5	3,3	4,5	5,9	7,7	10,0	13,2
8,4	3,9	5,2	6,9	9,1	11,6	15,0	19,5
8,6	6,0	7,9	10,6	13,7	17,3	21,8	27,7

pH	8°C	12°C	16°C	20°C	24°C	28°C	32°C
8,8	9,2	12,0	15,8	20,1	24,9	30,7	37,8
9,0	13,8	17,8	22,9	28,5	34,4	41,2	49,0
9,2	20,4	25,8	32,0	38,7	45,4	52,6	60,4
9,4	30,0	35,5	42,7	50,0	56,9	63,8	70,7
9,6	39,2	46,5	54,1	61,3	67,6	73,6	79,3
9,8	50,5	58,1	65,2	71,5	76,8	81,6	85,8
10,0	61,7	68,5	74,8	79,9	84,0	87,5	90,6
10,2	71,9	77,5	82,4	86,3	89,3	91,8	93,8

Fuente: Swann (1997)

Existe un rango de toxicidad por amonio según la especie, pero normalmente se acepta que niveles por debajo de 0,02 ppm son seguros (Swann, 1997). Los problemas por toxicidad de amonio se presentan con mayor frecuencia en sistemas piscícolas con recirculación.

Cabe anotar que el nitrito también puede llegar a ser tóxico, provocando lo que se conoce como la enfermedad de la sangre marrón (café). Esta ocurre cuando el nitrito se combina con la hemoglobina para formar metahemoglobina, fijando el oxígeno e impidiendo su transporte a través de la sangre que, producto de ello, adquiere un color marrón. Los peces intoxicados por nitrito usualmente mueren con la boca abierta y los opérculos cerrados. Según Konikoff (1975), el pez afectado permanece quieto en el fondo hasta unos instantes antes de morir cuando puede realizar un nado errático hacia arriba (Stickney, 1979). Para contrarrestar las altas concentraciones de nitrito se puede aplicar cloruro de sodio o sal común.

2.2.5. Sulfito de hidrógeno (H₂S)

Es una consecuencia de la acumulación de materia orgánica en el fondo del estanque y las condiciones anaeróbicas que esto produce (Vinatea,

2004). Es frecuente en los pantanos y se detecta por un olor similar a "huevo podrido" (Swann, 1997). Normalmente se presenta en estanques con suelos ricos en sulfatos de azufre o con exceso de acumulación de materia orgánica.

El H_2S suele ser tóxico a concentraciones muy bajas (0,01-0,05 mg/l). Para impedir la presencia de este gas se debe hacer recambio de agua de fondo. Normalmente solo con una buena concentración de oxígeno y agua circulante se evita toxicidad por este gas.

2.3. Sistemas buffer

2.3.1. pH

Se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno (H^+), determinando si el agua es ácida o básica. La escala para medir el rango de acidez del agua es la del pH, que va de 1 a 14. Un valor por debajo de 7 indica que el agua es ácida y uno por encima de dicho valor indica alcalinidad. Por lo tanto, un valor de siete nos indica que el agua es neutra.

En la acuicultura los valores normales de pH varían desde 6,5 a 9,0 y dicho valor influye en la dinámica de otros factores. Como se vio anteriormente, un pH elevado permite una mayor concentración de amonio en su forma no ionizada, mientras que en un pH bajo predomina su forma iónica, la cual no es letal para los peces.

A lo largo del día el pH tiene una dinámica particular relacionada con el proceso fotosintético. El aumento de esta actividad produce un incremento en el pH, ya que el CO_2 es tomado del agua para la producción de oxígeno. Al atardecer y en las primeras horas de la mañana este pH se reduce, debido a que comienza a darse acumulación de CO_2 como

consecuencia del cese en el proceso fotosintético y de la liberación del mismo por la respiración de los organismos del medio acuático. Normalmente el agua posee un sistema tampón eficiente con reservas de carbonato y bicarbonato que evitan fluctuaciones muy marcadas del pH a lo largo del día.

2.3.2. Alcalinidad

Se define como la capacidad del agua para neutralizar ácidos sin que haya un aumento del pH. La alcalinidad total es una medida de las bases en el agua en términos de mg/l de equivalentes de carbonato de calcio (CaCO_3). Las bases más comunes en el agua son el hidróxido (OH), el bicarbonato (HCO_3) y el carbonato (CO_3) (Swann, 1997). Estas bases se encuentran en el agua por la disolución de piedra caliza de los suelos o por difusión de CO_2 atmosférico que al fusionarse con el agua forma ácido carbónico y luego, dependiendo del pH y otras reacciones, se presentará bajo la forma de carbonato y bicarbonato. La alcalinidad total es la sumatoria de las alcalinidades de bicarbonato y carbonato, elementos que juegan un papel importante en la productividad del estanque porque, al ser tampones que retienen el CO_2 , mantienen una fuente constante de carbono para la fotosíntesis y por lo tanto previenen concentraciones bajas de oxígeno (Stickney, 1979).

La alcalinidad evita que ocurran fluctuaciones del pH a lo largo del día y, sobre todo, que se presenten valores de pH ácidos. Las aguas con alcalinidad baja tienen poca capacidad para resistir cambios en el pH y debe evitarse que descendan los valores de estas bases (Stickney, 1979). Normalmente la productividad natural del estanque se incrementa con niveles por encima de los 20 mg/l. Cuando la alcalinidad es baja se puede agregar piedra caliza o bicarbonato de sodio (Brown et al., 1991).

2.3.3. Salinidad

La salinidad se define como la cantidad total en gramos de materia sólida contenida en un kilogramo de agua de mar cuando todo el carbonato ha sido convertido a óxido, el bromo y el yodo reemplazados por cloro y toda la materia orgánica completamente oxidada.

Para determinar la salinidad se suele usar la siguiente fórmula:

$$\text{Salinidad} = 0,03 + 1,805 \times \text{clorinidad}$$

La clorinidad se define como el contenido total en gramos de cloro, bromo y yodo contenidos en un kilogramo de agua de mar, asumiendo que el bromo y el yodo han sido reemplazados por el cloro. Para determinar la clorinidad se realiza una titulación con nitrato de plata (dando origen a la precipitación de cloruro de plata). La titulación se estandariza con agua de mar de conocida clorinidad (Stickney, 1979).

El instrumento más utilizado para medir la salinidad es un refractómetro o salinómetro, este tiene una precisión de $\pm 0,5$ ppt y solo requiere una gota de agua para calcular el valor.

La salinidad del agua dulce normalmente está por debajo de 0,5 ppt. El agua comienza a volverse "salada" cuando las concentraciones se encuentran a partir de 2 ppt.

Aunque el parámetro no es de gran importancia para el cultivo de especies de aguas continentales, cabe destacar que existen especies de agua dulce que toleran determinados niveles de salinidad, como es el caso de las tilapias. Por otro lado, también existen especies marinas que pueden ser cultivadas en agua dulce o en salinidades por debajo de la marina, como algunas especies de camarón.

2.3.4. Dureza

La dureza mide principalmente los niveles de calcio y magnesio en el agua, aunque también puede incluir otros elementos como aluminio, hierro, manganeso, estroncio, zinc e iones de hidrógeno (Roldán y Ramírez, 2008). Se define como la concentración de cationes divalentes en el agua, expresada también en mg/l de CaCO_3 (Stickney, 1979). Normalmente los valores de dureza y alcalinidad son similares y deben de estar normalmente entre 75-150 mg/l (Tabla 5).

Para la mayoría de especies de agua dulce la dureza debe estar entre 20-150 mg/l (Stickney, 1979) y no suele considerarse en sistemas marinos (Stickney, 1979). Cuando la dureza es igual a la alcalinidad se dice que existe una dureza carbonatada, de lo contrario se habla de dureza no-carbonatada (Swann, 1997). Los niveles de dureza pueden ser de gran importancia en el cultivo de crustáceos dado que se requiere de una concentración adecuada de elementos como el calcio (componente fundamental del exoesqueleto) para que se dé un óptimo desarrollo (mudas) en dichas especies.

La dureza se puede incrementar aplicando cal (CaO); sin embargo, la cal apagada [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] no debe utilizarse debido a que dará origen a un agua básica superando en muchos casos el sistema tampón. El carbonato de calcio puede ser utilizado, pero no sería efectivo en aguas con pH alto porque solo se disolvería hasta cierto grado. El yeso también puede ser aplicado sin que se afecte el pH (Stickney, 1979).

Tabla 5. Clasificación de las aguas por el grado de dureza según Boyd (1990)

Dureza (mg/l)	Clasificación
0-75 mg/l	Blanda
75-150 mg/l	Moderadamente dura
150-300 mg/l	Dura
>300 mg/l	Extremadamente dura

Fuente: Vinatea (2004)

2.3.5. Hierro

Algunas aguas subterráneas pueden tener altos contenidos de hierro. El hierro se une al oxígeno y forma un compuesto insoluble dando una característica rojiza al agua. Además, se pueden formar pequeños cúmulos de hierro en las branquias de los peces que les causan irritación y estrés. Para evitar concentraciones inadecuadas de hierro se debe exponer el agua al ambiente o usar filtros antes de usarla para los estanques de cultivo (Buttner et al., 1993) (Tabla 6).

Tabla 6. Rangos de concentraciones aceptables para sustancias inorgánicas disueltas en estanques acuícolas

Elemento	Forma en el agua	Concentración
Oxígeno	Oxígeno molecular (O_2)	5 – 15 mg/l
Hidrógeno	H^+ [$-\log(H^+) = pH$]	PH 7 – 9
Nitrógeno	Nitrógeno molecular (N_2)	Saturación o menos
	Amoníaco (NH_4^+)	0,2 – 2 mg/l
	Amonio (NH_3)	< 0,1 mg/l
	Nitrato (NO_3^-)	0,2 – 10 mg
	Nitrito (NO_2^-)	< 0,3 mg/l
Azufre	Sulfito de hidrógeno (H_2S)	No detectable
	Sulfato (SO_4^-)	5 – 100 mg/l
Carbono	Dióxido de carbono (CO_2)	1 – 10 mg/l
Calcio	Ion de calcio (Ca_2^+)	5 – 100 mg/l
Magnesio	Ion magnesio (Mg_2^+)	5 – 100 mg/l
Sodio	Ion sodio (Na^+)	2 – 100 mg/l
Potasio	Ion potasio (K^+)	1 – 10 mg/l
Bicarbonato	Ion bicarbonato (HCO_3^-)	50 – 300 mg/l
Carbonato	Ion carbonato (CO_3^{2-})	0 – 20 mg/l
Cloruro	Ion cloruro (Cl^-)	1 – 100 mg/l
Fósforo	Ion fosfato (HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$)	0,005 – 0,2 mg/l

Elemento	Forma en el agua	Concentración
Silicona	Ion silicato (H_2SiO_3 , $HSiO_3^-$)	2 – 20 mg/l
Hierro	Ion ferroso (Fe_2^+)	0 mg/l
	Ion férrico (Fe_3^+)	Traza
	Hierro total	0,05 – 0,5 mg/l
Manganeso	Ion manganeso (Mn_2^+)	0 mg/l
	Dióxido de manganeso (MnO_2)	Traza
	Manganeso total	0,05 – 0,2 mg/l
Zinc	Ion zinc (Zn_2)	< 0,01 mg/l
	Zinc Total	0,01 – 0,05 mg/l
Cobre	Ion cobre (Cu_2^+)	< 0,005 mg/l
	Cobre total	0,005 – 0,01 mg/l
Boro	Borato (H_3BO_3 , $H_2BO_3^-$)	0,05 – 1 mg/l

Fuente: Boyd y Tucker (1998)

3

Cálculos relacionados con el consumo de oxígeno

3.1. Consideraciones sobre el consumo de oxígeno de acuerdo a la biomasa, la temperatura del agua y la edad

De acuerdo con Maguire y Allan (1991), los organismos acuáticos pueden enfrentar cuatro situaciones diferentes dependiendo del oxígeno en el agua de cultivo:

- **Independencia de oxígeno:** los animales tienen suficiente O_2 para realizar satisfactoriamente todas sus actividades metabólicas.
- **Dependencia alimentaria:** el animal no dispone de O_2 para metabolizar los alimentos ingeridos.
- **Dependencia fisiológica:** el animal se estresa y enferma.
- **Mortalidad:** los animales mueren por hipoxia (Vinatea, 2004).

En un cultivo de peces hay dos factores que son determinantes para definir la capacidad de carga de un cuerpo de agua: la concentración de oxígeno disuelto (OD) y el requerimiento de O_2 de la especie cultivada (Sastre et al., 2004).

El consumo de oxígeno es medido en mg de oxígeno consumido por pez en determinado tiempo (normalmente se valora el consumo en mg O₂/pez/h; mg O₂/kg de pez/h). Esta cifra varía dependiendo de varios factores entre los cuales están el peso del pez, la temperatura del agua, la actividad (los consumos de oxígeno más elevados coinciden con la digestión del alimento), el nivel de estrés y la especie (Blanco, 1995).

La manipulación de los peces aumenta considerablemente la demanda de oxígeno. Ross y Ross (1983) realizaron pruebas en las cuales dejaban a los animales dos minutos por fuera del agua y, por medio de respirómetros, medían el posterior consumo de oxígeno. El rango de consumo de oxígeno posterior al estrés se elevó en un 150 - 300% comparado con el valor de reposo normal. El consumo se redujo a valores normales pasadas tres horas de haberse realizado la manipulación (Beveridge y McAndrew, 2000). Las concentraciones bajas de oxígeno incrementan el gasto respiratorio, aunque cuando el OD es bajo los animales pueden compensarlo reduciendo su ritmo metabólico y el consumo de alimento (Stickney, 1979; Allan y Maguire, 1991).

La temperatura juega un papel fundamental en el crecimiento de los peces, ya que tiene una relación directa con la velocidad de las reacciones bioquímicas y, a través de factores asociados, con el consumo de alimento (Beveridge y McAndrew, 2000). Cuando los animales son expuestos a temperaturas por encima o por debajo de sus rangos óptimos se ven alterados los procesos metabólicos, lo que puede causar disminución en el consumo de alimento, reducción en la tasa de crecimiento y hasta muerte. Las tilapias, por ejemplo, son muy sensibles al frío y sufren a bajas temperaturas debido a fallas en la osmorregulación; no sobreviven a temperaturas por debajo de 10 grados por más de unos cuantos días (Beveridge y McAndrew, 2000).

El consumo de oxígeno varía de forma considerable de acuerdo a la talla del pez, pero no a la edad, pues cuando aumenta el tamaño del pez la tasa metabólica disminuye. Esto se ve reflejado en la mayor demanda de oxígeno para animales de menor tamaño (por gramo de pez), independientemente de que el pez grande presente un consumo de oxígeno más elevado debido a su mayor biomasa (Valbuena y Cruz, 2006). En el estudio realizado por Sastre et al. (2004) se evaluó el consumo de oxígeno de cachama blanca a 34°C, los autores encontraron que peces de 30 g consumieron en promedio 434,9 mgO₂/kg/h, es decir, tres veces más oxígeno que peces de 480 g que consumieron alrededor de 127,36 mgO₂/kg/h a la misma temperatura. Estos resultados demuestran la relación inversa que tienen el peso corporal y el consumo de oxígeno.

La temperatura también tiene un papel importante en el consumo de oxígeno. A medida que se incrementa la temperatura se da un aumento significativo en el rango de consumo de oxígeno (Beveridge y McAndrew, 2000). Esto se explica por el hecho de que, dentro de ciertos límites, la actividad metabólica es proporcional a la temperatura del agua.

3.2. Consumo de oxígeno para peces de aguas frías

Como se mencionó en el capítulo anterior, el oxígeno es uno de los parámetros de mayor importancia en la calidad del agua en especies de aguas frías y entre los salmónidos. La trucha arcoíris es la de mayor cultivo en el país y este parámetro es de vital importancia para ella. Dadas las condiciones de cultivo y los requerimientos de la especie, se pueden presentar problemas por deficiencias de oxígeno si no se realiza un manejo adecuado.

Diversos factores intervienen en el consumo de oxígeno, entre los que se refieren al pez como tal encontramos que el consumo varía según la

especie, el sexo y el peso. Otro factor que provoca un gran impacto es la temperatura, en el caso de las truchas, por ejemplo, cuando están en aguas por encima de los 20 grados centígrados no encuentran la suficiente concentración de oxígeno para suplir sus requerimientos y por lo tanto presentan problemas. La corriente del agua también afecta el consumo, cuando es muy fuerte ocasiona una mayor actividad en los peces y así un mayor gasto de oxígeno. Para evitar movimientos muy fuertes se recomienda trabajar con corrientes de 3 cm/s en los lotes de truchas, esto ocasiona el movimiento necesario para eliminar los residuos que pudiesen quedar en el estanque (Blanco, 1995). La calidad del agua también se puede afectar por la acumulación de metabolitos tóxicos, como cuando se presentan concentraciones altas de CO_2 que bajan el pH y ocasionan una disminución del oxígeno disponible en el agua.

Según Yasou (1971), para los salmónidos en general los requisitos de oxígeno son altos, presentándose asfixias cuando los valores están por debajo de los 5 mg/l y mortalidad cuando se presentan concentraciones de 3 mg/l o menos (Blanco, 1995). El porcentaje de saturación es otro valor importante a tener en cuenta. Para la trucha arcoíris el crecimiento normal ocurre en niveles de saturación entre el 65 y 92%, niveles por debajo del 60% llevan a crecimientos más lentos y niveles de saturación del 30% o menos llevan a pérdidas de peso (Blanco, 1995).

En tanto es necesario mantener una concentración adecuada de oxígeno en el agua para evitar que ocurran problemas con los organismos acuáticos, se recurre al concepto de oxígeno residual. Este hace referencia a la concentración que debe permanecer en el agua antes de ser vertida de nuevo al medio y su valor es de 5,5 mg/l (Blanco, 1995).

Dentro de las fluctuaciones en las concentraciones de OD a lo largo del día, un aspecto que tiene gran relevancia y que se relaciona con la cap-

tación de dicho gas por los peces en cultivo son las horas máximas de consumo, las cuales normalmente ocurren después de la alimentación. Es en estos momentos que se habla del consumo máximo de oxígeno, el cual se expresa como un valor que, sumado al del OD aportado por el caudal disponible en un determinado tiempo, permite estimar la carga del estanque y así ayudar a una correcta programación o manejo de los diferentes lotes. Al momento de predecir los consumos de oxígeno viables para un estanque, siempre se debe pensar en aportar nuevamente al medio el oxígeno residual adecuado para no alterar la vida en el ambiente natural de la cuenca o de la fuente de abastecimiento de agua (Blanco, 1995).

Para establecer la capacidad de una instalación es necesario conocer el aporte de oxígeno que puede dar un caudal y, con base en esto, determinar el ritmo de producción (7 días, 15 días, mensual) y así evitar problemas por una mala programación en cuanto a las necesidades requeridas. El oxígeno disponible (OD) es aquel que van a consumir los animales, este dato se obtiene de restar el oxígeno residual de la concentración de oxígeno medida en la entrada de la granja (Blanco, 1995).

Por otro lado, cuando se conocen el ΔO_2 y el consumo de oxígeno para una biomasa dada de animales, resulta posible estimar el caudal necesario para una granja. Para la trucha arcoíris, Liao (1971) (Figura 3) elaboró una herramienta con la cual se puede obtener el consumo medio de oxígeno (mg/kg/h) con base en el peso promedio de los animales y una temperatura dada, permitiendo obtener valores para temperaturas desde los 5 a 20 grados y desde 1 a 1.000 gramos de peso (Blanco, 1995).

Ejemplos de desarrollo que ilustran el empleo de la Figura 3:

1. Se desea establecer un estanque para albergar 1.400 truchas. Las truchas tienen un peso promedio de 115 gramos.

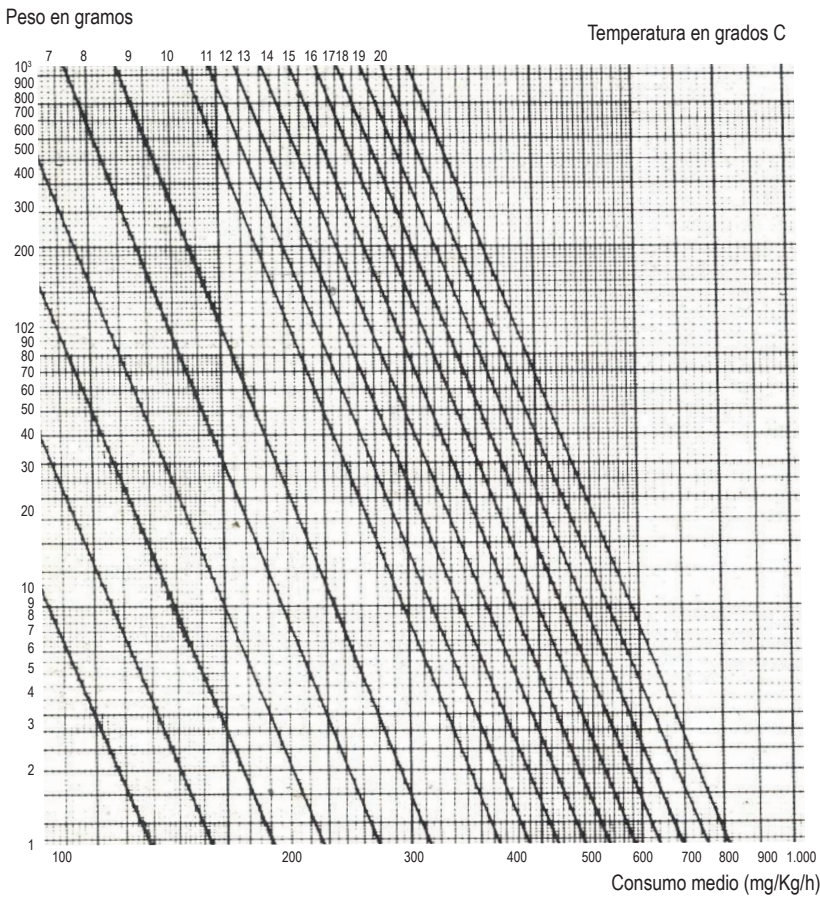


Figura 3. Consumo de oxígeno para trucha arcoíris

Fuente: Liao (1971)

La concentración de oxígeno en la entrada de agua es de 7,8 mg/l. La temperatura promedio del agua es de 15 grados centígrados. Determinar el caudal necesario para los animales.

Solución: Con el peso promedio de los animales y la temperatura del agua se debe hallar el consumo de oxígeno por un kilogramo de animales con dicho peso promedio y a esa temperatura. Ubicar el peso en las abscisas (Y) y la temperatura en la ordenada superior de la tabla, unir

ambos valores hasta donde se intercepten y, a partir de ese punto, trazar una línea perpendicular hasta la ordenada inferior para conocer el consumo de oxígeno con esas condiciones de peso y temperatura.

Para el ejemplo, 1 kg de peces con peso promedio de 115 gramos y a una temperatura de 15 grados centígrados consume alrededor de 295 mg/kg/h.

Por lo tanto, el consumo de un pez individual equivale a:

$$\text{OD requerido por pez} = \frac{115 \text{ g} * 295 \text{ mg O}_2}{1.000 \text{ g}} = 33,92 \text{ mg O}_2/\text{h}$$

Puesto que se necesita estimar el consumo total para poder determinar el caudal necesario se debe multiplicar este requerimiento individual por el número de animales en cultivo, obteniendo así el OD para dicho estanque:

$$\text{OD} = 33,92 \text{ mg O}_2/\text{h} * 1.400 \text{ peces} = 47.488 \text{ mg O}_2/\text{h}$$

Conociendo el OD solo resta conocer el delta de oxígeno (ΔO_2). Por lo tanto, el caudal requerido mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta\text{O}_2 \text{ (mg/l)} = \text{O}_2 \text{ entrada (mg/l)} - \text{O}_2 \text{ residual (mg/l)}$$

$$\Delta\text{O}_2 \text{ (mg/l)} = 7,8 \text{ mg O}_2/\text{l} - 5,5 \text{ mg O}_2/\text{l} = 2,3 \text{ mg O}_2/\text{l}$$

$$Q \text{ (l/h)} = \frac{\text{OD (mg/h)}}{\text{O}_2 \text{ (mg/l)}}$$

$$Q \text{ (l/h)} = \frac{47.488 \text{ mg O}_2/\text{h}}{2,3 \text{ mg O}_2/\text{l}} = 20.646,96 \text{ l/h}$$

$$Q \text{ (l/s)} = \frac{20.646,96 \text{ l/h}}{3.600 \text{ s/h}} = 5,74 \text{ l/s}$$

2. Se desea conocer el número de animales que se puede alojar en una granja. La temperatura promedio del agua es de 17 grados centígrados y se cuenta con un caudal de 225 l/s. La concentración de oxígeno inicial es de 8,8 mg/l. Se debe realizar levante y engorde con una duración de tres meses y cuatro meses respectivamente. El peso inicial es de 10 g y finalizan levante con 95 g, el peso al finalizar ceba es de 360 g. Calcular el número de animales que se pueden tener en la granja.

Solución: Se obtienen los pesos promedio.

$$\text{Levante} = \frac{10 \text{ g} + 95 \text{ g}}{2} = 52,2 \text{ g}$$

$$\text{Engorde} = \frac{95 \text{ g} + 360 \text{ g}}{2} = 227,5 \text{ g}$$

Se pueden asumir valores levemente superiores para prever situaciones de estrés por oxígeno.

En el engorde, el peso inicial es de 95 gramos y finalizan con 360 gramos. Se trabajará para levante con 60 g y para ceba con 240 g.

Según Liao (1971) (Figura 3), el consumo medio para dichos animales se puede establecer si se une la temperatura de 17 grados centígrados con el peso promedio de 60 g. Una vez encontrado el punto de intersección entre dichos valores, y trazando una línea vertical, el consumo medio de oxígeno para dicho peso y temperatura es de 360 mg/kg/h. Se calcula el consumo de un pez:

$$\text{OD} = \left(\frac{360 \text{ mg O}_2/\text{h} * 60 \text{ g}}{1.000 \text{ g/kg}} \right) = 21,6 \text{ mg O}_2/\text{h}/\text{Anim.}_{(60\text{g})}$$

Dada la duración del levante, el consumo por animal se multiplica por 3, que sería el equivalente al número de lotes con mínimo un animal.

$$OD_{\text{levante}} = 21,6 \text{ mg O}_2/\text{h}/\text{Anim.}_{(60\text{g})} \text{ para tres Anim. levante} * 3 \text{ lotes (1 Anim./lote)}$$

$$OD_{\text{levante}} = 64,8 \text{ mg O}_2/\text{h}/\text{Anim.}_{(60\text{g})} \text{ para tres Anim. levante}$$

Consumo oxígeno para engorde. Peso promedio de 240 gramos para la misma temperatura de 17 grados centígrados. El consumo medio según la tabla está alrededor de 280 mg/kg/h. De nuevo, se debe conocer el consumo individual de un pez con ese peso, por consiguiente:

$$OD = \frac{280 \text{ mg O}_2/\text{h}/\text{kg} * 240 \text{ g}}{1.000 \text{ g}/\text{kg}} = 67,2 \text{ mg O}_2/\text{h}/\text{Anim.}_{(240\text{g})}$$

La fase de engorde tarda cuatro meses. El consumo de oxígeno por animal se multiplica por 4, es decir, el equivalente al número de lotes con un mínimo de un animal por lote.

$$OD_{\text{engorde}} = 67,2 \text{ mg O}_2/\text{h}/\text{Anim.}_{(240\text{g})} * 4 \text{ lotes (1 Anim./lote)}$$

$$OD_{\text{engorde}} = 268,8 \text{ mg O}_2/\text{h}/\text{Anim.}_{(240\text{g})} \text{ para cuatro Anim. engorde}$$

Haciendo sumatoria de los consumos en levante y en engorde se tiene un valor de 333,6 mgO₂/h que consumirían siete animales, dado que se han tenido en cuenta los tres (3) lotes de levante y los cuatro (4) lotes de engorde.

El siguiente paso es estimar el OD por unidad de tiempo. Para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$OD \text{ (mg/s)} = Q \text{ (l/s)} * \Delta O_2 \text{ (mg/l)}$$

$$OD \text{ (mg/s)} = 225 \text{ l/s} * (8,8 \text{ mg O}_2/\text{l} - 5,5 \text{ mg O}_2/\text{l}) = 742,5 \text{ mg O}_2/\text{s}$$

Llevándolo a OD en mg/h sería:

$$OD \text{ (mg/h)} = 742,5 \text{ mg O}_2/\text{s} * 3.600 \text{ s/h} = 2.673.000 \text{ mg O}_2/\text{h}$$

Conociendo el OD y el consumo de oxígeno que se requiere según el ritmo de producción se puede estimar el número de animales que se pueden albergar en dicha granja mediante una regla de tres:

$$\begin{array}{lcl} 7 \text{ (Anim.) consumen} & \longrightarrow & 333,6 \text{ mg O}_2/\text{h} \\ X \text{ (Anim.) consumirán} & \longrightarrow & 2.673.000 \text{ mg O}_2/\text{h} \end{array}$$

$$X = 56.088,13 \text{ Anim.}$$

Considerando el número de lotes en todo el proceso se obtiene el número de peces a alojar por lote:

$$\text{Número (Anim./lote)} = \frac{56.088,13 \text{ Anim.}}{7 \text{ lotes}} = 8.012,59 \text{ Anim./lote}$$

$$\text{Total Anim. levante} = 8.012,59 \text{ Anim./lote} * 3 \text{ lotes} = 24.037,77 \text{ Anim.}$$

$$\text{Total Anim. engorde} = 8.012,59 \text{ Anim./lote} * 4 \text{ lotes} = 32.050,36 \text{ Anim.}$$

3. Se requiere producir 2 toneladas de trucha en presentación de un filete de 2 Anim./kg. Se iniciará con animales de un mes de eclosionados con un peso promedio de 1,2 g. Peso de sacrificio 770 g a los 10 meses.

Duración alevinaje: 1 mes 30 días. Peso al finalizar alevinaje: 4 g

Duración levante: 3 meses 90 días. Peso al finalizar levante: 110 g

Duración ceba: 6 meses 180 días

La concentración media de oxígeno es 8,2 mg/l. La temperatura promedio del agua es de 18 grados centígrados. Ritmo de producción quincenal.

Calcular:

- A. Inventario de animales por etapa
- B. Inventario total en granja

- C. Consumo de oxígeno por etapa
- D. Consumo de oxígeno total
- E. Caudal por fase de vida
- F. Caudal total

Número de animales a producir por quincena:

$$2 \text{ Anim./kg} * 2.000 \text{ kg/qna} = 4.000 \text{ Anim./qna.}$$

Se asumirá mortalidad de cero (0%).

El número de lotes se obtiene de dividir la duración del periodo de ocupación por el ritmo de producción. Se reciben animales de un mes de eclosionados.

$$\text{Lotes alevinaje} = \frac{30 \text{ días ocupación}}{15 \text{ días ritmo producción}} = 2 \text{ lotes alevinaje}$$

$$\text{Lotes levante} = \frac{90 \text{ días ocupación}}{15 \text{ días ritmo producción}} = 6 \text{ lotes levante}$$

$$\text{Lotes ceba} = \frac{180 \text{ días ocupación}}{15 \text{ días ritmo producción}} = 12 \text{ lotes ceba}$$

Estimar el peso promedio de los animales en las 3 etapas para determinar un consumo de oxígeno estándar.

$$\text{Peso promedio alevino} = \frac{1,2 \text{ g} + 4 \text{ g}}{2} = 2,6 \text{ g}$$

Para evitar alguna deficiencia de oxígeno se trabajará con un peso promedio mayor, se usará un peso de 2,8 g.

$$\text{Peso promedio levante} = \frac{4 \text{ g} + 110 \text{ g}}{2} = 57 \text{ g}$$

Se trabajará con un peso promedio mayor, se usará un peso de 70 g.

$$\text{Peso promedio ceba} = \frac{110 \text{ g} + 770 \text{ g}}{2} = 440 \text{ g}$$

Se trabajará con un peso promedio mayor, se usará un peso de 520 g.

Según la Figura 3 (Liao, 1971), el consumo por kg será de 560 mgO₂/h/kg, 370 mgO₂/h/kg y de 275 mgO₂/h/kg para las fases de alevinaje, levante y ceba respectivamente.

$$\text{Consumo O}_2 = \frac{560 \text{ mg O}_2/\text{h/kg} * 2,8 \text{ g}}{1.000} = 1,568 \text{ mg O}_2/\text{h/Anim. alevinaje}$$

$$\text{Consumo O}_2 = \frac{370 \text{ mg O}_2/\text{h/kg} * 70 \text{ g}}{1.000 \text{ g/kg}} = 25,9 \text{ mg O}_2/\text{h/Anim. levante}$$

$$\text{Consumo O}_2 = \frac{275 \text{ mg O}_2/\text{h/kg} * 520 \text{ g}}{1.000 \text{ g/kg}} = 143 \text{ mg O}_2/\text{h/Anim. ceba}$$

El consumo por animal de cada fase deberá llevarse al consumo total por fase según el número de lotes y el número de animales/lote.

Alevinaje:

$$\text{OD alevinaje} = 1,568 \text{ mg O}_2/\text{h/Anim.} * 2 \text{ lotes} * 4.000 \text{ Anim./lote}$$

$$\text{OD alevinaje} = 12.544 \text{ mg O}_2/\text{h/alevinaje}$$

$$\text{Total Anim. alevinaje} = 8.000$$

Levante:

$$\text{OD levante} = 25,9 \text{ mg O}_2/\text{h/Anim.} * 6 \text{ lotes} * 4.000 \text{ Anim./lote}$$

$$\text{OD levante} = 621.600 \text{ mg O}_2/\text{h/levante}$$

$$\text{Total Anim. levante} = 24.000$$

Ceba:

$$\text{OD ceba} = 143 \text{ mg O}_2/\text{h/Anim.} * 12 \text{ lotes} * 4.000 \text{ Anim./lote}$$

$$\text{OD ceba} = 6.864.000 \text{ mg O}_2/\text{h/ceba}$$

$$\text{Total Anim. ceba} = 48.000$$

Total:

$$\text{Consumo total O}_2 \text{ (20 lotes)} = 7.498.144 \text{ mg O}_2/\text{h.}$$

$$\text{Total Anim. en granja} = 80.000$$

Caudal requerido para cada fase. Para obtener dicho valor, es necesario utilizar la siguiente ecuación:

$$Q \text{ (l/h)} = \frac{\text{OD (mg/h)}}{\text{O}_2 \text{ (mg/l)}}$$

$$\text{O}_2 \text{ (mg/l)} = 8,2 \text{ mg O}_2/\text{l} - 5,0 \text{ mg O}_2/\text{l} = 3,2 \text{ mg O}_2/\text{l}$$

El caudal total será:

$$\text{OD (mg O}_2/\text{h)} = Q \text{ (l/h)} * \Delta \text{O}_2 \text{ (mg O}_2/\text{l)}$$

$$7.498.444 \text{ mg O}_2/\text{h} = Q \text{ (l/h)} * 3,2 \text{ mg O}_2/\text{l}$$

$$Q \text{ (l/h)} = 2.343.170 \text{ l/h}$$

Caudal para toda la granja:

$$Q \text{ (l/s)} = \frac{2.343.170 \text{ l/h}}{3.600 \text{ s/h}} = 650,88 \text{ l/s}$$

Caudal por fase de vida:

Alevinaje:

$$Q \text{ (l/s)}_{\text{alevinaje}} = \frac{12.544 \text{ mg O}_2/\text{h}}{3,2 \text{ mg O}_2/\text{l} * 3.600 \text{ s/h}} = 1,09 \text{ l/s}$$

Levante:

$$Q \text{ (l/s)}_{\text{levante}} = \frac{621.600 \text{ mg O}_2/\text{h}}{3,2 \text{ mg O}_2/\text{l} * 3.600 \text{ s/h}} = 53,96 \text{ l/s}$$

Ceba:

$$Q \text{ (l/s)}_{\text{ceba}} = \frac{6.864.000 \text{ mg O}_2/\text{h}}{3,2 \text{ mg O}_2/\text{l} * 3.600 \text{ s/h}} = 595,83 \text{ l/s}$$

Podría igualmente calcularse el caudal correspondiente según la fase de vida haciendo un análisis de relación, es decir:

Consumo O₂/Anim./alevinaje = 1,568 mg O₂/h/Anim._(2,8g) * 2 lotes (cada uno de 1 Anim.)

Consumo O₂/Anim./alevinaje = 3,136 mg O₂/h

Consumo O₂/Anim./levante = 25,9 mg O₂/h/Anim._(70g) * 6 lotes (cada uno de 1 Anim.)

Consumo O₂/Anim./levante = 155,4 mg O₂/h

Consumo O₂/Anim./ceba = 143 mg O₂/h/Anim._(70g) * 12 lotes (cada uno de 1 Anim.)

Consumo O₂/Anim./ceba = 1.716 mg O₂/h

Consumo de los (20 animales) = 1.874,54 mg O₂/hora

Caudal total 650,88 l/s → Consumo total O₂ 20 Anim. 1.874,54 mg O₂/h

 X l/s → Consumo O₂ 2 Anim. alevinaje 3,136 mg O₂/h

Caudal para alevinaje X = 1,089 l/s

Caudal total 650,88 l/s → Consumo total O₂ 20 Anim. 1.874,54 mg O₂/h

 X l/s → Consumo O₂ 6 Anim. levante 155,4 mg O₂/h

Caudal para levante X = 53,96 l/s

Caudal total 650,88 l/s → Consumo total O₂ 20 Anim. 1.874,54 mg O₂/h

 X l/s → Consumo O₂ 12 Anim. ceba 1.716 mg O₂/h

Caudal para ceba X = 595,8 l/s

El caudal hallado para cada fase de vida, por análisis de relación, corresponde al mismo valor de caudal que el hallado en el método anterior.

Nota: es de tener en cuenta que estos cálculos están realizados exclusivamente para una única utilización del agua. Cuando se trabaja en granjas con reutilización de agua la capacidad de carga será mayor. A medida que se reutiliza el agua, tendrá una menor concentración de oxígeno/l. Habrá que realizar el cálculo de OD basándose en el ΔO_2 más bajo a medida que se reutiliza el agua, dependiendo del uso de sedimentadores, caídas de agua luego de cada uso y de la aireación suplementaria que se provea.

Existen otras técnicas para estimar el consumo de oxígeno pero pocas son aplicables en campo. Otra fórmula que suele ser aplicada se usa en salmónidos para estimar el consumo de oxígeno requerido en un día con base en el consumo de alimento (Wheaton, 1982):

$$OD \text{ (kg)} = \text{Kg alimento/día} * 0,22$$

La constante de 0,22 se basa en que los salmónidos requieren entre 200 y 300 gramos de O_2 para transformar un kilogramo de alimento, por lo tanto, dicha constante sale de un valor estándar promedio dentro de este rango. Normalmente, cuando se estima el consumo de OD mediante esta relación se considera dicho valor como los kg de OD que se requieren por kg de alimento suministrado a lo largo del día.

La fórmula no incluye la relación entre el consumo de oxígeno, la temperatura del agua y el peso del animal, por lo que se podría subestimar o sobreestimar el consumo de oxígeno a temperaturas y pesos diferentes.

Ejemplo de desarrollo que ilustra el empleo de la fórmula

OD = kg alimento/día x 0,22 kg:

Se desea conocer la cantidad de oxígeno consumido por un lote de 18.000 truchas cuyo peso promedio es de 100 g y se alimentan con el 3% de su biomasa/día.

Calcular el consumo de OD/día y el caudal requerido (l/s) si el ΔO_2 es de 3,2 mg/l

Consumo de alimento:

18.000 truchas * 0,1 kg peso * 3%/día = 54 kg de alimento balanceado/día

54 kg alimento balanceado/día * 0,22 = 11,88 kg O_2 /día

$$\text{Consumo OD} = \frac{11.880 \text{ g } O_2/\text{día} * 1.000 \text{ mg/g}}{86.400 \text{ s/día}} = 137,5 \text{ mg } O_2/\text{s}$$

$$Q \text{ (l/s)} = \frac{137,5 \text{ mg } O_2/\text{s}}{3,2 \text{ mg } O_2/\text{l}} = 42,97 \text{ l/s}$$

Si el cálculo se realizara con base en lo aportado por Liao (1971) (Figura 3), a una temperatura de 18°C el consumo de oxígeno para animales de 100 g sería de 340 mg O_2 /h. Por lo tanto, el caudal sería:

340 mg O_2 /h * 0,1 kg/trucha = 34 mg O_2 /h/Anim. * 18.000 truchas = 613.800 mg O_2 /h

Es decir,

$$\frac{612.000 \text{ mg } O_2/\text{h}}{3.600 \text{ s/h}} = \frac{170 \text{ mg } O_2/\text{s}}{3,2 \text{ mg } O_2/\text{l}} = 53,125 \text{ l/s}$$

El Q = 53,125 l/s es 19,4% más consumo con respecto al hallado por el método descrito en Wheaton (1982), seguramente influenciado por la temperatura del agua.

3.3. Consumo de oxígeno para peces de aguas cálidas

Para peces de aguas cálidas resulta indeseable una concentración de O_2 inferior a 5 mg/l, aunque es normal la sobrevivencia con concentraciones inferiores (Guerra et al., 2015; Vinatea, 2004).

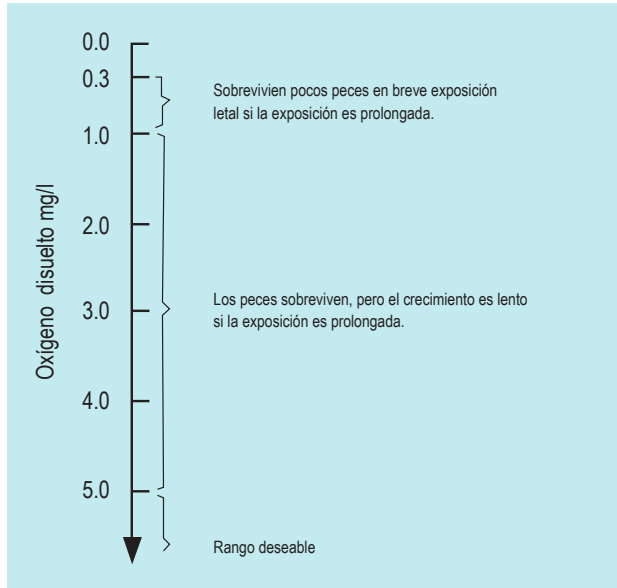


Figura 4. Efecto de la concentración de oxígeno sobre los peces de aguas cálidas

Fuente: Reid (1966) citado en Roldán y Ramírez (2008)

Especies como la tilapia son capaces de sobrevivir a niveles bajos de oxígeno disuelto (1,0 mg/l), pero el nivel de estrés da origen a la aparición de patologías (Cunningham y Klein, 2009). El nivel mínimo de oxígeno disuelto para mantener un crecimiento normal y baja mortalidad debe ser superior a 3,0 mg/l, valores menores a este reducen el crecimiento e incrementan la mortalidad (Figura 4).

Tabla 7. Consumo de oxígeno para peces de aguas cálidas

Temperatura	Ecuación de regresión (mg/h/pez)
25°C	$1,01p(g)^{0,64}$
28°C	$1,55p(g)^{0,64}$
35°C	$0,78p(g)^{0,78}$

Fuente: U. Saint Paul (1983) citado por Orozco (1990)

Ejemplos de desarrollo que ilustran el empleo de la Tabla 7:

1. Se tiene un ejemplar de tilapia con un peso de 620 gramos a una temperatura de 28°C su consumo de oxígeno será el siguiente:

$$1,55 * 620 \text{ g}^{0,64} = \frac{94,94 \text{ mg O}_2/\text{h}/\text{Anim.}}{3.600 \text{ s/h}} = 0,0264 \text{ mg O}_2/\text{s}/\text{Anim.}$$

2. Se tiene una granja con las siguientes características:

Peso promedio animal: 210 g

Número animales/lote: 15.000

Número de lotes: 4

Temperatura agua: 28°C

$$\Delta\text{O}_2 = 3,9 \text{ mg/l}$$

Consumo de oxígeno:

$$1,55 * 210 \text{ g}^{0,64} * 15.000 \text{ Anim.} * 4 \text{ lotes} = 2.849.071,16 \text{ mg O}_2/\text{h}/\text{Anim.}$$

$$\text{Consumo oxígeno mg/s} = \frac{2.849.071,16 \text{ mg O}_2/\text{h}/\text{Anim.}}{3.600 \text{ s/h}} = 791,41 \text{ mg O}_2/\text{s}$$

Consumo oxígeno mg/s = 791,41 mg/s para los 60.000 animales de la granja

Caudal requerido:

$$(15.000 \text{ Anim./lote} * 4 \text{ lotes} = 60.000 \text{ Anim.})$$

$$\text{OD (mg O}_2/\text{s)} = \text{Q (l/s)} * \Delta\text{O}_2 \text{ (mg O}_2/\text{l)}$$

$$791,41 \text{ mg O}_2/\text{s} = \text{Q (l/s)} * 3,9 \text{ mg O}_2/\text{l}$$

$$\text{Q (l/s)} = \frac{791,41 \text{ mg O}_2/\text{s}}{3,9 \text{ mg O}_2/\text{l}} = 202,93 \text{ l/s}$$

3. Número de animales en granja para caudal conocido:

Cuando se tiene un caudal conocido y animales de diferentes pesos, se debe calcular el número de animales que se pueden tener simultáneamente:

Caudal: 275 l/s; $\Delta O_2 = 4,2 \text{ mg/l}$, T° agua: 25°C

¿Cuántos animales de 55 g y de 310 g se pueden tener de manera simultánea en una granja con este caudal?

Consumo de oxígeno:

$$\begin{array}{rcl}
 1,01 * 55^{0,64} & = & 13,13 \text{ mg O}_2/\text{h/Anim.} \\
 1,01 * 310^{0,64} & = & 39,70 \text{ mg O}_2/\text{h/Anim.} \quad + \\
 \hline
 \text{Consumo total} & = & 52,83 \text{ mg O}_2/\text{h/ 2 Anim.}
 \end{array}$$

$$OD = 275 \text{ l/s} * 4,2 \text{ mg O}_2/\text{l} * 3.600 \text{ s/h} = 4.158.000 \text{ mg O}_2/\text{h}$$

$$2 \text{ Anim. consumen} \longrightarrow 52,83 \text{ mg O}_2/\text{h}$$

$$X \text{ Anim. consumirán} \longrightarrow 4.158.000 \text{ mg O}_2/\text{h}$$

$$X = 157.419,94 \text{ Anim.}$$

El caudal de 275 l/s podrá abastecer a aproximadamente 78.710 animales de 55 g y 78.710 animales de 310 g simultáneamente.

Otros autores como Valbuena y Cruz (2006) reportan la siguiente información para el consumo de oxígeno (Figura 5):

Tabla 8. Consumo de oxígeno para cachamas (*Piaractus brachypomus*)

Temperatura	Ecuación de regresión (mgO ₂ /kg/h)
34°C	774,9 -99,8 Log (bw), R=0,97
24°C	387,5 -46,1 Log (bw), R=0,97
18°C	202,2 -21,6 Log (bw), R=0,96

Fuente: Valbuena y Cruz (2006)

Según los autores, dicha relación se observa en otras especies nativas como el yamú (*Brycon amazonicus*) y aplicaría también para trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y para tilapias (Valbuena y Cruz, 2006).

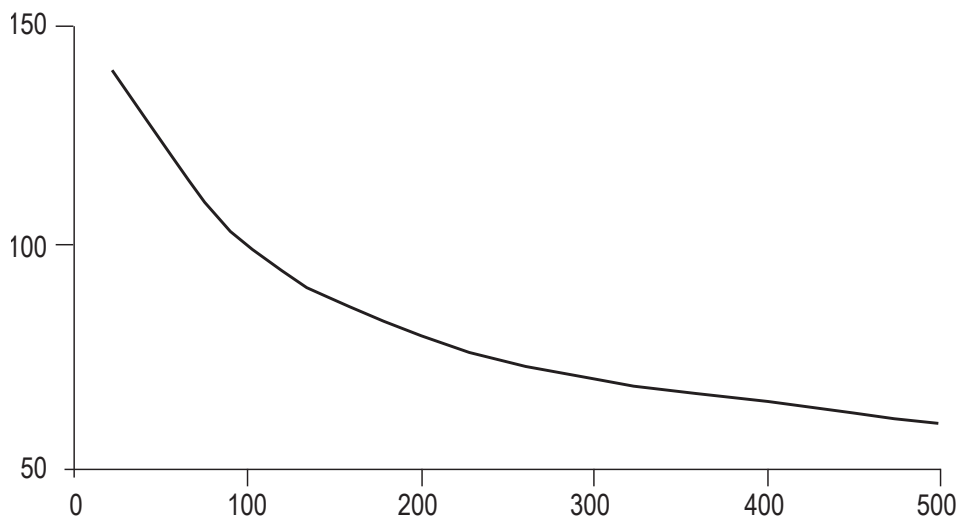


Figura 5. Curva de consumo de oxígeno para peces de diferentes pesos a 18°C
Fuente: Adaptado de Valbuena y Cruz (2006)

Ejemplo de desarrollo que ilustra el empleo de la Tabla 8:

Caudal: 275 l/s; $\Delta O_2 = 4,2$ mg/l, T° agua: 25°C

¿Cuántos animales de 55 g y de 310 g pueden tenerse simultáneamente en la misma granja con este caudal? Se calcula con 24°C.

Para 24°C = $387,5 - 46,1 \text{ Log } 55 = 307,27 \text{ mg O}_2/\text{h/kg}$

Para 24°C = $387,5 - 46,1 \text{ Log } 310 = 272,65 \text{ mg O}_2/\text{h/kg}$

$$\begin{array}{rcl}
 307,27 \text{ mg O}_2/\text{h/kg} * 0,055 \text{ kg} & = & 16,90 \text{ mg O}_2/\text{h/Anim.} \\
 272,65 \text{ mg O}_2/\text{h/kg} * 0,31 \text{ kg} & = & 84,52 \text{ mg O}_2/\text{h/Anim.} \\
 \text{Consumo total oxígeno} & = & \underline{101,42 \text{ mg O}_2/\text{h/2 Anim.}}
 \end{array}$$

2 Anim. consumen \longrightarrow 101,42 mg O₂/h

X Anim. consumirán \longrightarrow 4.158.000 mg O₂/h

X = 81.996 Anim.

El caudal de 275 l/s podrá abastecer 40.998 animales de 55 g y 40.998 animales de 310 g simultáneamente.

Como se deduce de estos resultados, hay una diferencia grande en cuanto a consumo de oxígeno y número de animales a cultivar cuando se compara el uso de la ecuación:

$$387,5 - 46,1 \text{ Log (bw)}, R = 0,97$$

Con respecto a la ecuación:

$$1,01 * p \text{ (g)}^{0,64}$$

Ross y Ross (1983) proponen la siguiente tabla para calcular el consumo de oxígeno en tilapias:

Tabla 9. Regresiones para cálculo de consumo de oxígeno en tilapias

Temperatura (°C)	Ecuación de regresión
20 °C	Log OC = 3,00 – 0,777 Log (wt)
25 °C	Log OC = 2,80 – 0,35 Log (wt)
30°C	Log OC = 3,34 – 0,586 Log (wt)
35 °C	Log OC = 3,03 – 0,255 Log (wt)

Fuente: Ross y Ross (1983)

Donde:

OC = Consumo de oxígeno en miligramos por kilogramo de pez por h

wt = Peso del pez en gramos

Ejemplo de desarrollo que ilustra el empleo de la Tabla 9:

Con los datos que se han venido utilizando (Caudal: 275 l/s; $\Delta O_2 = 4,2$ mg/l, T° agua: 25°C), ¿cuántos animales de 55 g y de 310 g pueden tenerse simultáneamente en la misma granja con este caudal? Se calcula con 25°C.

$$25^{\circ}\text{C} \quad \text{Log OC} = 2,80 - 0,35 \text{ Log (wt)}$$

$$\text{Log OC} = 2,80 - 0,35 \text{ Log } 55 = 2,19 \text{ mg O}_2/\text{h/kg}$$

$$\text{OC} = 2,19 \text{ mg O}_2/\text{h/kg} = \text{OC} = 10^{2,19} = 154,88 \text{ mg O}_2/\text{h/kg}$$

$$154,88 \text{ mg O}_2/\text{h/kg} * 0,055 \text{ kg} = 8,52 \text{ mg O}_2/\text{h/Anim.}$$

$$25^{\circ}\text{C} \quad \text{Log OC} = 2,80 - 0,35 \text{ Log (wt)}$$

$$\text{Log OC} = 2,80 - 0,35 \text{ Log } 310 = 1,93 \text{ mg O}_2/\text{h/kg}$$

$$\text{OC} = 1,93 \text{ mg O}_2/\text{h/kg} = \text{OC} = 10^{1,93} = 85,11 \text{ mg O}_2/\text{h/kg}$$

$$85,11 \text{ mg O}_2/\text{h/kg} * 0,310 \text{ kg} = 26,39 \text{ mg O}_2/\text{h/Anim.}$$

$$\text{OC} = 154,88 \text{ mg O}_2/\text{h/kg} * 0,055 \text{ kg} = 8,52 \text{ mg O}_2/\text{h/Anim.}$$

$$\text{OC} = 85,11 \text{ mg O}_2/\text{h/kg} * 0,31 \text{ kg} = 26,39 \text{ mg O}_2/\text{h/Anim.} \quad +$$

$$\text{Consumo total oxígeno} = \frac{\quad}{\quad} = 34,91 \text{ mg O}_2/\text{h/2 Anim.}$$

$$\text{OD} = 275 \text{ l/s} * 4,2 \text{ mg O}_2/\text{l} * 3.600 \text{ s/h} = 4.158.000 \text{ mg O}_2/\text{h}$$

$$2 \text{ Anim. consumen} \longrightarrow 34,90 \text{ mg O}_2/\text{h}$$

$$X \text{ Anim. consumirán} \longrightarrow 4.158.000 \text{ mg O}_2/\text{h}$$

$$X = 238.255 \text{ Anim.}$$

El caudal de 275l/s podrá abastecer aproximadamente 119.128 animales de 55 g y 119.128 animales de 310 g simultáneamente.

Los resultados obtenidos en este ejemplo presentan una diferencia grande en cuanto a consumo de oxígeno y número de animales a cultivar con respecto a las regresiones empleadas (Tabla 10). En estos casos, el productor deberá tomar la decisión para evitar subutilizar o sobreutilizar el caudal y obtener una menor producción al desaprovechar el caudal o al recargar el sistema y poner en riesgo el potencial genético de ganancia de peso y comprometer sobrevivencia por bajas de oxígeno. Debería pensarse en usar un valor intermedio en cuanto al número de animales a sembrar.

Tabla 10. Resumen sobre capacidad (número animales) según referencia para el ejemplo realizado

Referencia	Ecuación	Número de animales
U de Saint Paul (1983)	$25\text{ °C} = 1,01 p\text{ (g)}^{0,64}$	157.419,94
Valbuena y Cruz (2006)	$24\text{ °C} = 387,5 - 46,1 \text{ Log (bw), } R = 0,97$	81.955,66
Ross y Ross (1983)	$25\text{ °C} = \text{Log OC} = 2,80 - 0,350 \text{ Log (wt)}$	238.255,06

Fuente: elaboración propia

Tabla 11. Solubilidad de oxígeno a diferentes temperaturas y presiones atmosféricas

Temperatura (°C)	Solubilidad del O ² (mg/l)	Concentración O ² (a 760 mm Hg en mg/l)
20	8,84	3,33
21	8,68	3,24
22	8,53	3,21
23	8,38	3,16
24	8,25	3,11
25	8,11	3,06
26	7,99	3,01
27	7,86	2,96
28	7,75	2,92
29	7,64	2,88
30	7,53	2,84
31	7,43	2,80
32	7,33	2,76

Fuente: Lim y Webster (2006)

El oxígeno disponible puede ser usado para estimar la capacidad de carga de un cuerpo de agua.

Ejemplo de desarrollo que ilustra el empleo de la Tabla 11:

Para el ejemplo anterior, cuando el pez es de 310 g y consume 85,11 mg O₂/kg/h a una temperatura de 25°C (de acuerdo a las ecuaciones de regresión de Ross y Ross (1983) (Tabla 9).

Solubilidad de O₂ a 25 °C = 8,11 mg/l

Concentración a 760 mmHg = 3,06 mg/l

Oxígeno disponible = 8,11 mg O₂/l - 3,06 mg O₂/l = 5,05 mg O₂/l

Para hallar la capacidad de carga:

$$\frac{85,1 \text{ mg O}_2/\text{Anim.}/\text{h}}{60 \text{ min/h}} = 1,419 \text{ mg O}_2/\text{Anim.}/\text{min}$$

$$\frac{5,05 \text{ mg O}_2/\text{l}}{1,419 \text{ mg O}_2/\text{Anim.}/\text{min}} = 3,56 \text{ Anim.}/\text{l}/\text{min}$$

El resultado anterior significa que, para ese peso de animales, si el caudal fuese de un litro de agua/min se podrían tener 3,56 animales de 310 g cada uno. Para el ejemplo que se ha trabajado, si se calculara con base en el ejercicio que se ha venido desarrollando, con un caudal de 275 l/seg, es decir, 16.500 l/min, podrían tenerse 58.740 Anim. (3,56 Anim./min * 16.500 min).

Soderberg (1995) relaciona el consumo de oxígeno con el porcentaje de alimentación para determinar la capacidad de carga (kg/l/min) en la siguiente expresión:

$$Lr = \frac{(O_a - O_b) * (0,00654)}{F}$$

Donde:

Lr = Capacidad de carga (kg de pescado/l agua/min)

O_a = OD de entrada (mg O₂/l)

O_b = OD de salida (mg O₂/l)

F = Tasa de alimentación en kg de alimento por kg de pez por día

Relacionando esta fórmula con el ejercicio anterior, con un porcentaje de alimentación del 1,5%:

$$L_r = \frac{(8,11 \text{ mg O}_2/\text{l} - 3,06 \text{ O}_2/\text{l}) * (0,00654)}{0,015} = 2,202 \text{ kg/l/min}$$

Con base en la tasa de alimentación que se plantea, se podrían tener 7,103 Anim./l agua/min.

Si se tiene un caudal de 275 l/s, ¿cuántos animales podrían tenerse en la granja?

$$275 \text{ l/s} * 60 \text{ s/min} = 16.500 \text{ l/min} * 7,103 \text{ Anim./l/min} = 117.192,58 \text{ Anim.}$$

4

Cálculo de caudales

4.1. Valoración del caudal para una piscifactoría con base en parámetros físico químicos

El caudal de una empresa piscícola debe calcularse de manera tal que aporte a los peces la cantidad de oxígeno necesaria para que realicen sus funciones fisiológicas y se eliminen los desechos de sus procesos metabólicos, como el amoníaco y la materia orgánica en suspensión.

Considerando el oxígeno requerido para determinada cantidad de peces, el oxígeno consumido por estos debe ser restaurado por el caudal suministrado al estanque. El oxígeno consumido va a estar directamente relacionado con la biomasa, dado que el consumo se da acorde al peso medio de los animales y a la temperatura del agua (Jover et al., 2003). La forma de hallar el oxígeno consumido es:

$$O_2 \text{ consumido (mg/h)} = \text{biomasa (kg)} * \text{tasa de consumo (mg/kg/h)}$$

El conocimiento del oxígeno disuelto que entra al estanque es esencial, ya que va a definir la cantidad de peces que pueden cultivarse de acuerdo a un caudal de agua conocido.

Al igual que en el punto anterior, el amoníaco excretado dependerá de la biomasa presente en el estanque y la cantidad de alimento suministrado. La cantidad de amoníaco producido tiene dos orígenes: la eliminada a través de branquias como producto de la excreción metabólica y la originada por la degradación de la materia orgánica (Blanco, 1995). El amoníaco, después del oxígeno, es el segundo factor limitante en la producción piscícola. El principal efecto tóxico del amoníaco es la irritación del epitelio branquial, que impide el correcto intercambio gaseoso entre el medio y el organismo del pez.

Según Liao (1971), el amoníaco total puede ser calculado de la siguiente forma:

$$\text{Amoníaco producido (mg NH}_3\text{/l)} = 0,0289 * F$$

Donde:

F = kg de alimento distribuido por 100 kg de peces/día

0,0289 = Constante propuesta por Liao (1971) para el amoníaco

Otra forma de calcular el amonio es la siguiente:

$$\text{NH}_3 \text{ producido (g/kg alimento)} = 56 * P$$

Donde:

NH₃ producido (g/kg alimento) = Producción de amonio por kilogramo de alimento

P = Fracción decimal de la proteína en la dieta

Ejemplo de desarrollo que ilustra el empleo de las expresiones de Liao (1971):

1. ¿Cuál será la producción de amonio en un estanque de tilapias que consumen al día 25 kg de alimento *con un 40% de proteína?* (peces de 310 g y una tasa de alimentación de 1,5% de su peso).

Biomasa de los peces:

1,5 kg alimento \longrightarrow 100 kg Anim.

25 kg alimento \longrightarrow X kg Anim.

X = 1.666,67 kg Anim.

Amoniaco producido (mg NH_3/l) = 0,0289 * F

Amoniaco producido (mg NH_3/l) = 0,0289 * 25 kg alimento

Amoniaco producido (mg NH_3/l) = 0,7225 mg NH_3/l

Significa que los 1.666,67 kg de Anim., que consumen 25 kg de alimento, producen 0.7225 mg de amoniaco/l.

NH_3 producido (g/kg alimento) = 56 * P

NH_3 producido (g/kg alimento) = 56 * 0,40

22,4 g/kg alimento = 56 * 0,40

Y por medio de la siguiente regla de tres simple:

22,4 g/kg alimento * 25 kg alimento = 560 g $\text{NH}_3/\text{día}$

Reduciendo este valor a mg de amonio/segundo:

$$\frac{560 \text{ g } \text{NH}_3/\text{día} * 1.000 \text{ mg/g}}{24 \text{ h/día} * 3.600 \text{ s/h}} = 6,48 \text{ mg } \text{NH}_3/\text{s}$$

Según lo expresado, se puede calcular el caudal necesario para eliminar el amoniaco de un estanque de acuerdo a la siguiente expresión:

NH_3 eliminado (mg NH_3/s) = Q (l/s) * Concentración máx. tolerable por la especie (mg NH_3/l)

Con el valor obtenido, y a partir de la expresión anterior, se obtiene el caudal si se despeja así:

$$Q \text{ (l/s)} = \frac{\text{NH}_3 \text{ eliminado (mg } \text{NH}_3/\text{s})}{\text{Concentración máx. tolerable por la especie (mg } \text{NH}_3/\text{l})}$$

El rango de tolerancia al amonio en tilapias es de 0,6 a 2,0 ppm. Como concentración máxima tolerada para tilapias se usará como dato 0,7 mg NH₃/l (Tabla 12).

$$Q \text{ (l/s)} = \frac{6,5 \text{ mg NH}_3/\text{s}}{0,7 \text{ mg NH}_3/\text{l}} = 9,26 \text{ l/s}$$

Se requiere un caudal de 9,26 l/seg para remover los 560 mg de NH₃ producidos al día por los 25 kg de alimento.

Tabla 12. Límites de toxicidad del amoniaco para trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*)

	Alevinos	Juveniles
Concentración NH ₃	0,005 mg/l	0,007 mg/l
Concentración (NH ₃ + NH ₄ ⁺)	0,5 mg /l	0,7 mg/l

Fuente: Blanco (1994)

4.2. Determinación de volúmenes de producción con base en el caudal disponible

Cuando se trata de establecer una producción piscícola realmente eficiente se debe considerar, entre muchas otras variables, el número de peces para un determinado caudal. En la siguiente sección se explicará de forma sencilla cómo calcular el volumen de producción para un determinado caudal.

Para ello se emplea la ecuación sugerida por U. de Saint Paul (1983), citada por Orozco (1990), entre las tres mencionadas en el capítulo previo.

$$OD \text{ (mg/s)} = Q \text{ (l/s)} * (O_{2i} \text{ mg/l} - O_{2r} \text{ mg/l})$$

Donde:

OD = Oxígeno disuelto

Q = Caudal (l/s, m³/min, m³/h)

O_{2i} = Oxígeno inicial o de entrada

O_{2r} = Oxígeno residual o de salida

Ejemplo de desarrollo que ilustra el empleo de fórmula de U. de Saint Paul (1983) citada por Orozco (1990):

1. Se tiene una producción de tilapia con las siguientes características:

Temperatura del agua: 28°C

$O_2i = 7 \text{ mg/l}$

$O_2r = 5 \text{ mg/l}$

Peso promedio por Anim. = 250 gramos

Número de animales = 5.000

Inicialmente se calcula el oxígeno requerido por los animales con base en su peso, para esto se utiliza de la siguiente forma la ecuación de regresión mencionada en el numeral 3.3:

Consumo de oxígeno a 28°C = $1,55 * P (g)^{0,64} \text{ mg/Anim./h}$

$$1,55 * 250 \text{ g}^{0,64} = \frac{53,09 \text{ mg/Anim./h}}{3.600 \text{ s/h}} = 0,0147 \text{ mg/Anim./s}$$

Luego se necesita el consumo de oxígeno para la cantidad de peces que se tiene:

$$0,0147 \text{ mg/Anim./s} * 5.000 \text{ Anim.} = 73,74 \text{ mg/s total Anim.}$$

Al utilizar la igualdad mencionada anteriormente y despejar el caudal se obtiene:

$$\frac{73,74 \text{ mg/s total Anim.}}{7,0 \text{ mg/l} - 5,0 \text{ mg/l}} = 36,87 \text{ l/s total Anim.}$$

De lo anterior se concluye que el caudal necesario para suplir las necesidades metabólicas de oxígeno, bajo las condiciones ya mencionadas en este ejemplo, se requiere un caudal de 36,87 l/s y el ΔO_2 tiene un efecto significativo sobre el caudal requerido.

4.3. Recambio en porcentaje/unidad de tiempo y volumen/unidad de tiempo (Q)

Es necesario mantener los niveles óptimos de los parámetros que definen la calidad del agua en una determinada especie de cultivo para garantizar el buen estado de salud de los animales y las condiciones que deben cubrirse para su crecimiento.

La intensidad de cultivo incide en la calidad del agua. A mayor densidad de peces más rápida será la acumulación de metabolitos o materia orgánica, lo que a su vez influye en la salud de los animales y trae consigo resultados no deseables. En cultivos intensivos o ultra intensivos el problema radica en las altas cantidades de alimento balanceado suministrado, las cuales conllevan a un exceso de excretas ricas en compuestos nitrogenados.

Por lo anterior, se debe estimar la capacidad de carga para un determinado caudal de agua, el consumo de oxígeno de los peces y de los metabolitos de la digestión, la producción de CO_2 y de amonio y así considerar las condiciones en las cuales se evitarían concentraciones indeseables que ocasionarían problemas.

De acuerdo a lo anterior, se puede definir la capacidad de un cultivo para eliminar los metabolitos o materia orgánica y, según ello, determinar el recambio de agua necesario para mantener la calidad de agua adecuada para la especie a cultivar.

Los porcentajes de recambio varían según la carga en cada estanque que permita eliminar los desperdicios o cúmulos de materia orgánica, lo cual va a la par con la densidad de peces, el consumo de alimento y el caudal disponible, entre otros factores. En cultivos extensivos, por ejemplo, se pueden presentar recambios nulos o porcentajes menores

al 10% diario. Por otro lado, en cultivos intensivos, se pueden realizar recambios por encima de 300%/día.

Para estimar el tiempo de recambio de un cultivo dado solo se necesita conocer el volumen del estanque y del caudal que se dispone. Con estos dos valores sabremos el tiempo necesario para recambiar el agua de dicha estructura.

Ejemplos de desarrollo que ilustran el concepto de recambio:

1. Se tiene un estanque de 4.000 m³ y un caudal de 500 l/s. ¿Cuánto tiempo se requiere para hacer el recambio total del estanque?

$$4.000 \text{ m}^3 * 1.000 \text{ l/m}^3 = 4.000.000 \text{ l}$$

$$\frac{4.000.000 \text{ l}}{500 \text{ l/s}} = \frac{8.000 \text{ s}}{60 \text{ s/min}} = \frac{133 \text{ min}}{60 \text{ min/h}} = 2,22 \text{ h}$$

Se precisan 2,2 horas para hacer recambio del 100% de un estanque de 4.000 m³.

Esto es en caso de querer hacer un recambio total del estanque, para hacer recambios parciales simplemente se hace una regla de tres según el volumen que desea cambiarse:

2. ¿Cuánto tiempo se requiere para realizar un recambio del 30% en un estanque con las mismas características del ejemplo anterior?

$$4.000.000 \text{ l} * 30\% = 1.200.000 \text{ l}$$

$$\frac{1.200.000 \text{ l}}{500 \text{ l/s}} = \frac{2.400 \text{ s}}{60 \text{ s/min}} = 40 \text{ min}$$

Se necesitan 40 minutos para recambiar 1.200 m³ que equivalen al 30% del volumen total de agua del estanque.

3. *¿Qué caudal se requiere para hacer un recambio del 100% en un estanque con las mismas características del ejemplo anterior?*

$$4.000.000 \text{ l} * 100\% = \frac{4.000.000 \text{ l/h}}{3.600 \text{ s/h}} = 1.111,11 \text{ l/s}$$

4.4. Cálculo de caudal con reutilización del agua

Cuando se trabaja con reutilización del agua se emplea el caudal de la fase productiva anterior; sin embargo, no se debe usar agua reutilizada para las fases de ovas, larvas, poslarvas e incluso alevinos.

Para realizar estos cálculos es necesario asumir un delta de O₂ más bajo para el agua reutilizada luego de cada uso, teniendo en cuenta la pérdida de calidad. Hay que considerar que algunas veces el oxígeno del agua se recupera dentro del estanque y realmente el delta de O₂ no disminuye entre el estanque anterior y el siguiente.

Otra condición para realizar estos cálculos es restar el oxígeno que aporta el agua que será reutilizada del requerido por los animales en la siguiente fase o del siguiente lote. La cantidad de oxígeno que quede faltando deberá ser aportada por el agua fresca con base en el delta de O₂ de agua que no ha sido usada. De esta manera, el caudal para la fase que reutiliza agua estará compuesto por agua reutilizada y agua fresca.

Ejemplo de desarrollo que ilustra los conceptos de cálculo de caudales en sistemas de producción cuando no se hace reutilización y cuando se hace reutilización del agua:

Se tiene la siguiente información para una granja piscícola de aguas frías:

Duración del ciclo: 245 días (35 semanas)

$\Delta O_2 = 4,0 \text{ mg O}_2/\text{l}$

Temperatura promedio: 18°C

Caudal = 200 l/s

Ritmo de producción semanal. Para el cálculo de lotes se trabaja con número mínimo de Anim./lote. Por lo tanto, para producir cada semana por lo menos un pez se deben mantener en granja permanentemente 35 animales (Tabla 13).

Tabla 13. Resumen sobre parámetros productivos para el desarrollo de cálculo de caudal con y sin reutilización de agua

(Rango de peso (g))	Peso promedio (g)	Duración período (semanas)	Consumo oxígeno/kg (mg/h)	Consumo oxígeno/pez (mg/h)	Lotes / etapa	Consumo O ₂ /fase/h
Primera etapa 0,4 – 8	4,2 (7*)	12	480	3,36	12	40,32
Segunda etapa 8 – 180	94 (100*)	12	350	35,00	12	420,00
Tercera etapa 180 - 420	300 (350*)	11	280	98,00	11	1.078,00
Total consumo en mg O₂/h						1.538,32

* Se recomienda trabajar con un peso promedio levemente mayor al promedio aritmético.

Fuente: elaboración propia

Consumo O₂/h: 1.538,32 mg O₂/h

$$Q \text{ (l/h)} = \frac{OD \text{ (mg/h)}}{\Delta O_2 \text{ (mg/l)}}$$

$$Q \text{ (l/h)} = \frac{1.538,32 \text{ mg O}_2/\text{h}}{4,0 \text{ mg O}_2/\text{l}} = 384,58 \text{ l/h} = \frac{384,58 \text{ l/h}}{3.600 \text{ s/h}} = 0,107 \text{ l/s}$$

Caudal (l/s) = 0,107 l/s para mantener 35 peces de diferentes fases en la granja: 12 peces de primera etapa, 12 peces de segunda etapa y 11 peces de tercera etapa.

Caudal de abastecimiento: 200 l/s

Caudal requerido/s: 0,107 l/s para 35 animales

Si 35 Anim. \longrightarrow 0,107 l/s
 X Anim. se podrán tener \longrightarrow 200 l/s
 X = 65.420,56 Anim.

$$\frac{65.420,56 \text{ Anim.}}{35 \text{ lotes}} = 1.869,15 \text{ Anim./lote}$$

$$\begin{aligned} 12 \text{ lotes} * 1.869,15 \text{ Anim./lote} * 0,007 \text{ kg} &= 157,00 \text{ kg} \\ 12 \text{ lotes} * 1.869,15 \text{ Anim./lote} * 0,1 \text{ kg} &= 2.242,98 \text{ kg} + \\ 11 \text{ lotes} * 1.869,15 \text{ Anim./lote} * 0,35 \text{ kg} &= 7.196,22 \text{ kg} \\ \hline &9.596,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

La biomasa total aproximada en granja es de 9.596,2 kg

Biomasa aproximada por semana (peso húmedo):

$$1.869,15 \text{ Anim./lote} * 0,42 \text{ kg peso final tercera etapa} = 785,043 \text{ kg/semana}$$

Producción aproximada por semana (% del total de la biomasa):

$$\frac{785,043 \text{ kg/semana}}{9.596,2 \text{ kg totales}} * 100 = 8,18\%$$

Producción aproximada mensual (% del total de la biomasa):

$$8,18\% * 4,34 \text{ semanas/mes} = 35,50\%$$

Distribución del caudal total (200 l/s) para cada etapa **cuando no se hace reutilización de agua:**

$$Q_{\text{primera etapa}} = \frac{12 \text{ lotes} * 1.869,15 \text{ Anim./lote} * 3,36 \text{ mg O}_2/\text{Anim.}_{(0,007 \text{ kg})}/\text{h}}{4,0 \text{ mg O}_2/\text{l} * 3.600 \text{ s/h}} = 5,23 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{segunda etapa}} = \frac{12 \text{ lotes} * 1.869,15 \text{ Anim./lote} * 35 \text{ mg O}_2/\text{Anim.}_{(0,1 \text{ kg})}/\text{h}}{4,0 \text{ mg O}_2/\text{l} * 3.600 \text{ s/h}} = 54,51 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{tercera etapa}} = \frac{11 \text{ lotes} * 1.869,15 \text{ Anim./lote} * 98 \text{ mg O}_2/\text{Anim.}_{(0,35 \text{ kg})}/\text{h}}{4,0 \text{ mg O}_2/\text{l} * 3.600 \text{ s/h}} = 139,92 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{total}} = 5,23 \text{ l/s} + 54,51 \text{ l/s} + 139,92 \text{ l/s} = 199,66 \text{ l/s}$$

Cálculo **cuando se hace** reutilización de agua:

En el ejemplo anterior el Q por fase de vida será:

Cada reutilización disminuye ΔO_2 en 0,5 mg/l

Q primera etapa:

En el ejercicio, **el caudal de la primera etapa sería igual tanto para la piscícola que no hace reutilización de agua, como para la que trabaja con caudal reutilizado**, dado que por la fase de vida no se emplea agua reutilizada, por lo tanto sería $Q = 5,24 \text{ l/s}$.

El Q puede también hallarse de esta manera:

$$Q_{\text{primera etapa}} (\text{l/h}) = \frac{3,36 \text{ mg O}_2/\text{Anim.}_{(0,007 \text{ kg})}/\text{h}}{4,0 \text{ mg O}_2/\text{l}} = 0,84 \text{ l/ Anim.}_{(0,007 \text{ kg})}/\text{h}$$

$$0,84 \text{ l/Anim.}_{(0,007 \text{ kg})}/\text{h} * 22.429,8 \text{ Anim./etapa} = 18.841,03 \text{ l/h}$$

$$\frac{18.841,03 \text{ l/h}}{3.600 \text{ s/h}} = 5,23 \text{ l/s}$$

Q segunda etapa:

Con agua reutilizada serían:

$$\text{Requerimiento O}_2_{\text{segunda etapa}} (\text{mg O}_2/\text{h}) = 35 \text{ mg O}_2/\text{h} * 22.429,8 \text{ Anim.} = 785.043 \text{ mg O}_2/\text{h}$$

$$\text{Aporte O}_2_{\text{primera etapa}} (\text{mg O}_2/\text{h}) = 5,23 \text{ l/s} * 3,5 \text{ mg O}_2/\text{l} * 3.600 \text{ s/h} = 65.898 \text{ mg O}_2/\text{h}$$

$$\text{Requerimiento O}_2_{\text{faltante}_{\text{segunda etapa}}} (\text{mg O}_2/\text{h}) = 785.043 \text{ mg O}_2/\text{h} - 65.898 \text{ mg O}_2/\text{h} = 719.145 \text{ mg O}_2/\text{h}$$

El Q de primera etapa (5,24 l/s) aportará menos oxígeno (se asume un ΔO_2 de 3,5 mg O_2 /l) **por ser la segunda utilización.**

El oxígeno requerido en la segunda etapa es 719.145 mg O_2 /h. Este deberá ser aportado por agua fresca con un ΔO_2 de 4,0 mg O_2 /l.

Caudal agua fresca faltante segunda etapa:

$$Q \text{ (l/s)} = \frac{719.145 \text{ mg } O_2/\text{h}}{3.600 \text{ s/h} * 4 \text{ mg } O_2/\text{l}} = 49,94 \text{ l/s}$$

Q tercera etapa:

Con agua reutilizada serían:

$$\text{Requerimiento } O_{2 \text{ tercera etapa}} \text{ (mg } O_2/\text{h)} = 98 \text{ mg } O_2/\text{h} * 20.560,65 \text{ Anim.} = 2.018.199,26 \text{ mg } O_2/\text{h}$$

$$\text{Aporte } O_{2 \text{ primera etapa}} \text{ (mg } O_2/\text{h)} = 5,23 \text{ l/s} * 3,0 \text{ mg } O_2/\text{l} * 3.600 \text{ s/h} = 56.484 \text{ mg } O_2/\text{h}$$

$$\text{Aporte } O_{2 \text{ segunda etapa}} \text{ (mg } O_2/\text{h)} = 49,94 \text{ l/s} * 3,5 \text{ mg } O_2/\text{l} * 3.600 \text{ s/h} = 629.244 \text{ mg } O_2/\text{h}$$

$$\text{Requerimiento } O_2 \text{ faltante}_{\text{tercera etapa}} \text{ (mg } O_2/\text{h)} = 2.014.943,7 \text{ mg } O_2/\text{h} - 56.484 \text{ mg } O_2/\text{h} - 629.244 \text{ mg } O_2/\text{h}$$

$$\text{Requerimiento } O_2 \text{ faltante}_{\text{tercera etapa}} \text{ (mg } O_2/\text{h)} = 1.329.215,7 \text{ mg } O_2/\text{h}$$

El caudal de primera etapa (5,24 l/s) aportará menos oxígeno. **Se asume un ΔO_2 de 3,0 mg O_2 /l por ser la tercera utilización, por lo tanto aportará 56.484 mg O_2 /h.**

El caudal fresco que se usó en segunda etapa (50,02 l/s) aportará menos oxígeno. **Se asume un ΔO_2 de 3,5 mg/l por ser la segunda utilización, por lo tanto aportará 629.244 mg O_2 /h.**

El oxígeno requerido en la tercera etapa es 2.014.943,7 mg O_2 /h, al restarle el O_2 aportado por la primera etapa (56.484 mg O_2 /h) y la segun-

da etapa (629.244 mg O₂/h), el oxígeno faltante para cubrir requerimiento de la tercera etapa es de 1.329.215,7 mg O₂/h. Este deberá ser aportado por caudal de agua fresca.

Caudal agua fresca faltante tercera etapa:

$$Q \text{ (l/s)} = \frac{1.329.215,7 \text{ mg O}_2/\text{h}}{3.600 \text{ s/h} * 4 \text{ mg O}_2/\text{l}} = 92,30 \text{ l/s}$$

Cuando se hace reutilización de agua, el caudal total de agua fresca a emplear será de:

$$5,23 \text{ l/s} + 49,94 \text{ l/s} + 92,30 \text{ l/s} = 147,47 \text{ l/s}$$

Este caudal (147,47 l/s) equivale al 73,73% del caudal disponible, que son 200 l/s para producir la misma cantidad de animales (65.420,25 Anim.).

Reajuste número de animales por caudal sobrante:

Con 200 l/s se pueden producir 65.420,25 animales si no se reutiliza el agua.

200l/s caudal que usaría sin reutilización - 147,47 l/s caudal que se usaría con reutilización = 52,53 l/s que quedan disponibles para producir más animales cuando se reutiliza el agua.

¿Cuántos animales adicionales se podrán tener con los 52,53 l/s que sobrarían del caudal inicial?

$$147,72 \text{ l/s} \longrightarrow 65.420,25 \text{ Anim.}$$

$$52,28 \text{ l/s} \longrightarrow X \text{ Anim.}$$

$$X = 23.303,21 \text{ Anim. adicionales}$$

Los animales extra que se pueden tener con reutilización serían 23.303,21, para un total de 88.723,46 Anim. totales en granja, es decir, 35,62% más animales producidos. Lo anterior significa que se tendrían 665,8 Anim. más por lote; 2.534,95 Anim. totales reajustados/lote.

Caudal reajustado por etapa de acuerdo a la nueva carga de animales para el caudal disponible de 200 l/s (por dos métodos o procedimientos diferentes):

Caudal reajustado para primera etapa:

1° método:

$$\frac{12 \text{ lotes} * 2.534,95 \text{ Anim./lote} * 3,36 \text{ mg O}_2(\text{Anim./h})}{4 \text{ mg O}_2/\text{l} * 3.600 \text{ s/h}} = 7,09 \text{ l/s}$$

2° método:

Si con 5,23 l/s se producen \longrightarrow 22.429,8 Anim. primera etapa
 con X l/s se podrán producir \longrightarrow 30.419,4 Anim. primera etapa
 X = 7,09 l/s

Caudal reajustado para segunda etapa:

1° método:

$$\text{Requerimiento O}_2 \text{ segunda etapa (mg O}_2/\text{h)} = 12 \text{ lotes} * 2.534,95 \text{ Anim./lote} * 35 \text{ mg O}_2/\text{Anim.}_{(0,1 \text{ kg})}/\text{h}$$

$$\text{Requerimiento O}_2 \text{ segunda etapa (mg O}_2/\text{h)} = 1.064.679 \text{ mg O}_2/\text{h}$$

$$\text{Aporte O}_2 \text{ primera etapa (mg O}_2/\text{h)} = 7,09 \text{ l/s} * 3,5 \text{ mg O}_2/\text{l} * 3.600 \text{ s/h} = 89.334 \text{ mg O}_2/\text{h}$$

$$\text{Requerimiento O}_2 \text{ faltante}_{\text{segunda etapa}} \text{ (mg O}_2/\text{h)} = 1.064.679 \text{ mg O}_2/\text{h} - 89.334 \text{ mg O}_2/\text{h}$$

$$\text{Requerimiento O}_2 \text{ faltante}_{\text{segunda etapa}} \text{ (mg O}_2/\text{h)} = 975.345 \text{ mg O}_2/\text{h}$$

Caudal agua fresca faltante segunda etapa:

1° método:

$$Q \text{ (l/s)} = \frac{975.345 \text{ mg O}_2/\text{h}}{3.600 \text{ s/h} * 4 \text{ mg O}_2/\text{l}} = 67,73 \text{ l/s}$$

2° método:

Si con 49,94 l/s se producen \longrightarrow 22.429,8 Anim. primera etapa
 con X l/s se podrán producir \longrightarrow 30.419,4 Anim. primera etapa

Caudal reajustado para tercera etapa:

1º método:

$$\text{Requerimiento } O_2 \text{ tercera etapa (mg } O_2/h) = 11 \text{ lotes} * 2.534,95 \text{ Anim./lote} * 98 \text{ mg } O_2/\text{Anim.}_{(0,35 \text{ kg})}/h$$

$$\text{Requerimiento } O_2 \text{ tercera etapa (mg } O_2/h) = 2.732.676,1 \text{ mg } O_2/h$$

$$\text{Aporte } O_2 \text{ primera etapa (mg } O_2/h) = 7,09 \text{ l/s} * 3,0 \text{ mg } O_2/l * 3.600 \text{ s/h} = 76.572 \text{ mg } O_2/h$$

$$\text{Aporte } O_2 \text{ segunda etapa (mg } O_2/h) = 67,72 \text{ l/s} * 3,0 \text{ mg } O_2/l * 3.600 \text{ s/h} = 853.272 \text{ mg } O_2/h$$

$$\text{Requerimiento } O_2 \text{ faltante}_{\text{tercera etapa}} \text{ (mg } O_2/h) = 2.732.676,1 \text{ mg } O_2/h - 76.572 \text{ mg } O_2/h - 853.272 \text{ mg } O_2/h$$

$$\text{Requerimiento } O_2 \text{ faltante}_{\text{tercera etapa}} \text{ (mg } O_2/h) = 1.802.832,1 \text{ mg } O_2/h$$

Caudal agua fresca faltante tercera etapa:

1º método:

$$Q \text{ (l/s)} = \frac{1.802.832,1 \text{ mg } O_2/h}{3.600 \text{ s/h} * 4 \text{ mg } O_2/l} = 125,19 \text{ l/s}$$

2º método:

Si con 92,30 l/s se producen \longrightarrow 20.560,65 Anim. primera etapa

con X l/s se podrán producir \longrightarrow 27.884,45 Anim. primera etapa

$$X = 125,19 \text{ l/s}$$

En la siguiente tabla se presenta un resumen del ejercicio realizado:

Tabla 14. Resumen de resultados sobre el cálculo de caudal sin reutilización de agua, con reutilización de agua y carga reajustada con base en el caudal total

Fase de vida	Caudal <u>sin</u> reutilización (200l/s) 1872,17 Anim./lote 65.526,03 Anim. totales	Caudal <u>con</u> reutilización (147,72 l/s) 1872,17 Anim./lote 65.526,03 Anim. totales	Carga reajustada caudal total (200 l/s) 2534,76 Anim. reajustados/lote 88.716,53 Anim. totales
Primera etapa	5,24 l/s (22.466,04 Anim.)	5,24 l/s (22.466,04 Anim.)	7,092 l/s (30.417,10 Anim.)

Fase de vida	Caudal <u>sin</u> reutilización (200l/s) 1872,17 Anim./lote 65.526,03 Anim. totales	Caudal <u>con</u> reutilización (147,72 l/s) 1872,17 Anim./lote 65.526,03 Anim. totales	Carga reajustada caudal total (200 l/s) 2534,76 Anim. reajustados/lote 88.716,53 Anim. totales
Segunda etapa	54,61 l/s (22.466,04 Anim.)	50,02 l/s (22.466,04 Anim.)	67,72 l/s (30.417,10 Anim.)
Tercera etapa	140,15/s (20.593,87 Anim.)	92,46/s (20.593,87 Anim.)	125,18 l/s (27.882,34 Anim.)
Total	200,00 l/s (Q disponible)	147,72 l/s (73,86% del Q disponible)	662,59 Anim. más por lote 200 l/s

Fuente: elaboración propia

4.5. Pérdidas por evaporación e infiltración

La construcción adecuada de un estanque debe garantizar que estos sean sólidos e impermeables. Sin embargo, esto no quiere decir que estén exentos de pérdidas de agua, ya que se pueden producir dos tipos de pérdidas: por evaporación y por infiltración. Las primeras son proporcionales a la temperatura del agua, a la temperatura del aire, a la presión de vapor, al área superficial del agua y a la velocidad del viento. Las otras pérdidas ocurren en función de la constitución y estructura del suelo (Wheaton, 1982).

4.5.1. Evaporación

La evaporación es el proceso por el cual el agua pasa de su fase líquida a una fase gaseosa y puede ocurrir a cualquier temperatura. La ebullición, por el contrario, solo ocurre a una temperatura dada pues se relaciona directamente con la presión atmosférica (Segeber y Villodas, 2008).

Como se mencionó anteriormente, este tipo de pérdida está estrechamente relacionada con la temperatura del agua y el aire, la presión de

vapor de agua, el área superficial del agua y la velocidad del viento (Figura 6 y Tabla 15). El principio de la evaporación se basa en que a mayor temperatura el agua acumulará una mayor cantidad de energía, haciendo que las moléculas del agua se muevan más rápidamente, lo que a su vez incrementará la probabilidad de que una de estas moléculas escape a la atmósfera (Figura 7).

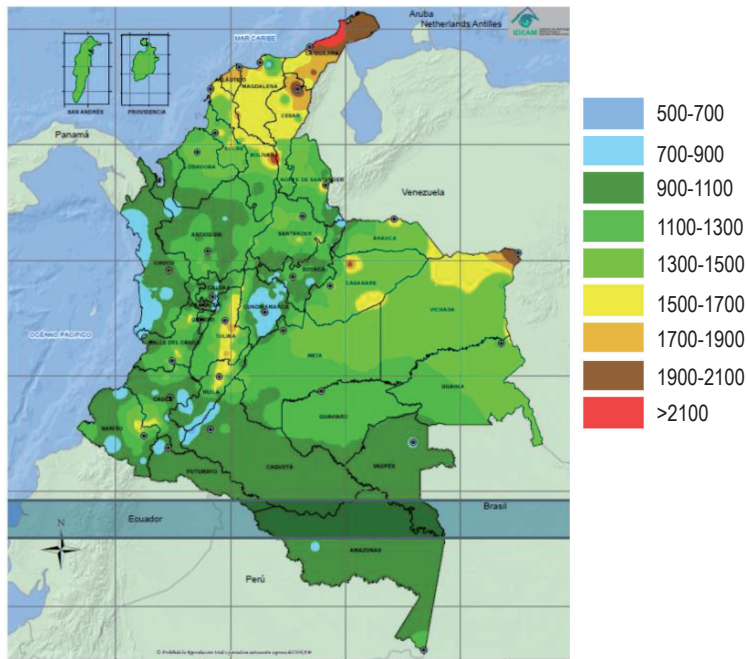


Figura 6. Evaporación total anual (mm). Promedio multianual (1981 – 2010)

Fuente: IDEAM (2014)

La mayoría de los sistemas acuáticos de producción utiliza cuerpos de agua de poca profundidad. Esta configuración produce una gran área superficial con respecto al volumen comprendido y, por ende, produce una evaporación alta con respecto al volumen de agua (Wheaton, 1982).

Las ecuaciones utilizadas para la medición de la evaporación se derivan de la ley de Dalton, la cual señala que la evaporación es la diferencia en-

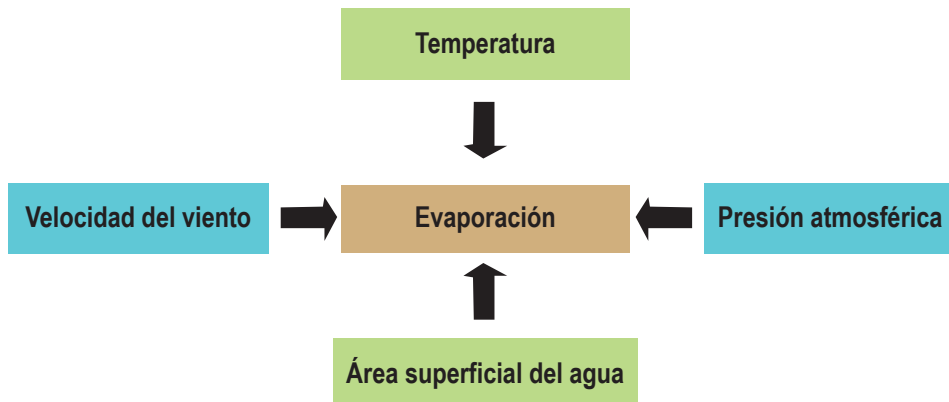


Figura 7. Interacciones del clima que favorece la evaporación

Fuente: Wheaton (1982)

tre la tensión de vapor saturante a la temperatura del agua y la tensión de vapor existente en el aire circundante (Segerer y Villodas, 2008).

Una de las expresiones más simples se aplica para cálculos aproximados en superficies líquidas situadas a bajas altitudes, donde se puede considerar que la presión atmosférica es de aproximadamente 760 mm de columna de mercurio. Algunas fórmulas empíricas propuestas son:

$$E = 75 * t \text{ (para lagos o embalses con cota inferior a 200 msnm)}$$

$$E = 90 * t \text{ (para lagos o embalses con cota entre 200 y 500 msnm)}$$

$$E = 90 * t * 300 \text{ (para lagos o embalses con cota superior a 500 msnm)}$$

Donde:

E = Evaporación anual en mm

t = Temperatura media anual en grados Celsius

Para calcular la evaporación de un espejo de agua, Coche y Van der Wal (1981) recomiendan el método de las cubiertas de clase A. Este consiste en medir todos los días la evaporación de un recipiente (de 1,50 m de

diámetro por 50 cm de altura) llamado de clase A. Para realizar la medición es necesario que en el interior del tanque se pinten dos líneas: una a 5 cm y otra en el borde, esto ayudará a mantener el nivel de agua correcto. El valor promedio obtenido debe multiplicarse por un factor de ajuste (0,75) y, una vez obtenido el valor del recipiente clase A y multiplicado por el factor de ajuste, se multiplica la superficie de agua en m² para obtener las pérdidas por evaporación.

Ejemplo de desarrollo que ilustra el empleo del método de Coche y Van der Wal (1981):

Área del tanque = 0,75 m²

Descenso nivel agua (m/día) = 3 cm = 0,03 m * 0,75 (factor de corrección) = 0,0225 m/día

Pérdidas por evaporación (l/día) = 0,75 m² (área del tanque) * 0,0225 m/día * 1.000 l/m³

Pérdidas por evaporación (l/día) = 16.875 l/día

Tabla 15. Promedio de evaporación por regiones en Colombia

Evaporación en Colombia	
Región	Promedio de evaporación anual (mm)
Zona norte (Guajira)	>2100
Línea del litoral (Santa Marta – Golfo de Morrosquillo)	1500- 2100
Estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta	700
Cuenca del bajo Magdalena, sabanas de Córdoba,	
Bolívar, Cesar, Magdalena y Noreste de Antioquia	1500 - 1700
Valles Interandinos	1300 - 1500
Sabana de Bogotá	900 – 1100
Costa Pacífica	1000
Orinoquía	1100 - 1300
Amazonía	900 - 1100
San Andrés y Providencia	1300 - 1500

Fuente: IDEAM (2014)

4.5.2. Infiltración

Corresponde al agua que se pierde vertical y horizontalmente por el fondo y las paredes o taludes del estanque, así como la que se va por los sistemas de desagüe. La cantidad de agua perdida por infiltración será mínima si la construcción de los estanques es adecuada.

Las principales causas de las pérdidas por infiltración son:

- Estanques construidos en suelos con altos contenidos de arena y grava.
- Cuando se presenta una capa de suelo superficial debajo de una capa de piedra madre fracturada.
- Métodos de construcción inadecuados, incluyendo fallas en la compactación de arcillas en el fondo de un estanque; falta de arcillas que cubran el lugar donde están los diques; ausencia de collar anti infiltración alrededor de los tubos de drenaje o sistemas de filtración inadecuados.

Si los estanques están construidos sobre suelos permeables las tasas de infiltración pueden ser muy altas. Reportes de pérdidas por infiltración de más de 1 pulgada por día son muy comunes. La tasa común de pérdidas es de 0,0254 hasta 0,0508 m por día (1 - 2 pulgadas/día).

Para proteger de las infiltraciones se deben seleccionar suelos con un alto contenido de arcilla y seguir buenos métodos de construcción para los estanques.

Algunas técnicas que pueden ser usadas durante la construcción inicial o durante la renovación de estanques viejos para reducir la infiltración son:

- Seleccionar los lugares donde van a construirse los estanques.

- Compactar el terraplén en capas de 6 a 8 pulgadas de espesor (15 a 20 cm).
- Compactar los suelos del fondo de los estanques y las zonas con alta humedad. Puede realizarse con maquinaria pesada durante la construcción inicial.
- Instalar una cubierta de arcilla sobre el fondo y los taludes del estanque. Verificar que las arcillas no contengan metales pesados que pueden ser tóxicos para los peces.
- Incorporar bentonita en los fondos de los estanques cuando una arcilla apropiada es inviable. La bentonita se expande cuando está húmeda y rellena los pequeños agujeros en el suelo.
- Incorporar materia orgánica (equinaza) como abono en el fondo del estanque.
- La cantidad de infiltración vertical de agua dependerá de la composición y estructura del suelo del fondo del estanque. Si el suelo es tosco, como en el caso de los arenosos, será permeable y el agua se perderá por infiltración. Los suelos con una buena estructura permitirán menos infiltración que los suelos de mala estructura (Coche y Van der Wal, 1981) (Tabla 16).

Tabla 16. Pérdidas por infiltración según el tipo de suelo

Suelo de tipo natural	Pérdidas por infiltración (mm/día)
Arena	25 – 250
Légamo arenosa	13 – 76
Légamo	8,0 – 20
Légamo arcilloso	2,5 – 15
Arcilla legamosa	0,25 – 5
Arcilla	1,25 – 10

Fuente: Coche y Van der Wal (1981)

Existen dos formas de describir la permeabilidad del suelo en la piscicultura:

1. Coeficiente de permeabilidad

El coeficiente de permeabilidad es una característica de los suelos que hace referencia al flujo de un fluido a través de este. Es medido gracias a la siguiente expresión:

$$V = K * i \quad K = \frac{V}{i}$$

Donde:

V = Velocidad de escurrimiento de un fluido a través del suelo

K = Coeficiente de permeabilidad propio y característico

i = Gradiente hidráulico

Este último representa la relación entre la diferencia de niveles (H) y la distancia que el agua recorre.

El coeficiente de permeabilidad está expresado en metros por segundo (m/s) o en centímetros por segundo (cm/s).

2. Tasa de filtración

Para piscicultura en estanques con fines comerciales se considera aceptable una tasa media de filtración de 1 a 2 cm/día. Sin embargo, Wheaton (1982) considera que la filtración no deberá superar los 25 l/s/ha, lo que equivaldría a 21,6 cm de descenso de nivel por día.

$$\frac{25 \text{ l/s/ha} * 86.400 \text{ s/día}}{1.000 \text{ l/m}^3 * 10.000 \text{ m}^2/\text{ha}} = 0,216 \text{ m/día} = 21,6 \text{ cm/día}$$

Ejemplo de desarrollo que ilustra lo sugerido por Wheaton (1982):

Se desea calcular el promedio de pérdidas de caudal en una granja con un promedio de evaporación mensual de 100 mm/mes y un promedio de filtración de los estanques de 1,5 cm/día.

$$\frac{100 \text{ mm/mes}}{30 \text{ días/mes}} = 3,33 \text{ mm/día}$$

Sumando las pérdidas por filtración se tiene:

$$3,33 \text{ mm/día} + 15 \text{ mm/día} = 18,33 \text{ mm/día} = 0,01833 \text{ m/día}$$

En volumen, si se tomara como referencia una hectárea, se obtiene:

$$0,01833 \text{ m/día} * 10.000 \text{ m}^2/\text{ha} = 183,33 \text{ m}^3/\text{ha/día}$$

Esto significa una pérdida de 183,33 m³/día que deberían reponerse.

Si se reduce a un caudal expresado en l/s sería:

$$\frac{183,33 \text{ m}^3/\text{ha/día} * 1.000 \text{ l/m}^3}{86.400 \text{ s/día}} = 2,12 \text{ l/ha/s}$$

Este es el caudal expresado en l/s necesario para reponer lo que se ha perdido por hectárea. De acuerdo al área del estanque se calcula el volumen a reponer de manera proporcional.

Análisis: el resultado estaría acorde a lo mencionado con respecto a una filtración media de estanques y muy por debajo de lo sugerido por Wheaton (1982).

5

Cálculo de alimentación

En las granjas piscícolas, como en otras producciones animales, los alimentos son de los rubros de mayor importancia. En producciones extensivas, en las que únicamente se aplica fertilizante para estimular la productividad primaria que nutrirá a los peces, este rubro tal vez no tenga el mismo impacto. Sin embargo, en granjas intensivas en las que la necesidad de alimento no puede ser abastecida por la productividad del agua, se presenta la necesidad de suministrar alimento balanceado, el cual representa el principal costo variable en la producción y el 50% o más de los costos totales. Por tal motivo, la disponibilidad de alimentos balanceados de bajo costo, excelente calidad nutritiva, estabilidad en el agua, tamaño, forma, textura, olor y sabor, así como las buenas prácticas alimenticias, son requisitos fundamentales para lograr producciones sostenibles de peces (Lim y Webster, 2002).

La alimentación de los animales es clave para el éxito de una granja piscícola. Sin embargo, no solo radica en

poseer un alimento con la formulación adecuada para una especie o etapa fisiológica, sino también en la frecuencia en que dicho alimento es suministrado, en las cantidades requeridas y en la presentación más adecuada (Stickney, 2009). El exceso de comida no consumida ocasiona una pérdida económica directa e induce a la degradación del ambiente, provocando estrés, enfermedades, bajo crecimiento, baja sobrevivencia y una mala cosecha. Según Downey (1978), entre las consecuencias que trae la sobrealimentación está el incremento en la producción de amoníaco, el cual puede ocasionar hiperplasia del epitelio branquial (lo que dificulta el paso de oxígeno), acumulación de nitritos (por oxidación del amoníaco), incremento en la producción de CO_2 (baja el pH y reduce el oxígeno del medio) y aumento de los sólidos en el agua, lo cual ocasiona un aumento de la DBO y puede llevar a provocar lesiones en las branquias (Blanco, 1995).

Los requerimientos de nutrientes en peces, y por lo tanto de alimento, están determinados por factores ligados al animal (especie, variedad o línea, talla, estadio y estado fisiológico) y al medio (temperatura, salinidad, calidad del agua, contenido de OD). Dos factores son de suma importancia: la talla del animal y la temperatura del agua (Guillaume et al., 2004) (Tabla 17, Tabla 18 y Tabla 19). Otros factores que también influyen en el requerimiento son la salud del animal, el estadio fisiológico, el medio de cultivo y la época del año. Cada parámetro debe estar en un rango óptimo para que se dé el máximo aprovechamiento del alimento suministrado. En las truchas, por ejemplo, se requieren entre 250 y 300 g de OD para transformar un kg de alimento (Cho, 1992; Blanco, 1995). Cuando las concentraciones de oxígeno no son adecuadas se reduce la efectividad a la cual es transformado el alimento y provoca un mayor gasto del pez para poder ser utilizado (Guillaume et al., 2004).

Existen especies que tienen horas del día propicias para el consumo de alimento y esto debe tomarse en cuenta. El momento de suministrar el alimento debe estar relacionado con la temperatura y la concentración de OD. Algunos investigadores argumentan que solo se debe dar alimento cuando la saturación de OD alcance un 75%. Por otro lado, la alimentación en la noche debe evitarse ya que se incrementa la demanda de oxígeno en el momento de niveles más bajos de OD (Lim y Webster, 2002).

La determinación de una tasa de alimentación óptima es un proceso difícil, debido a que el consumo está bajo controles metabólicos, endocrinos y neurales, los cuales se ven afectados por la especie, el tamaño del pez, la temperatura del agua, la salinidad, el OD, los metabolitos y el fotoperiodo. La disponibilidad de alimento natural, la calidad del alimento, la frecuencia, el consumo anterior, los factores sociales y la salud también afectan el consumo (Lim y Webster, 2002).

El tamaño del pez influye en las tasas de alimentación. Los peces pequeños requieren mayor energía para el metabolismo por unidad de peso y crecen más rápido que los peces más grandes. Por lo tanto, un pez pequeño consume un mayor porcentaje de su biomasa que un pez grande.

Debido a que existen tantos factores que afectan la tasa de alimentación, en ocasiones se suele alimentar a saciedad (*ad libitum*). Sin embargo, en cultivos intensivos a veces no es posible realizar esto, pues las densidades elevadas no permiten hacerlo ya que la cantidad será excesiva y se puede sobrepasar la capacidad que tiene el cultivo para eliminar los desperdicios o metabolitos originados de la alimentación proteica y, por lo tanto, se deteriora la calidad del agua (Lim y Webster, 2006).

En los alimentos balanceados, las tasas de alimentación se expresan con base en una determinada edad (talla y peso) y a una temperatura dada. Dichos datos sirven como referencia y deben ser ajustados según las observaciones en la granja. En sus primeros estadios de vida, y hasta la etapa de juveniles, el animal es sobrealimentado, pero en sus posteriores ciclos de vida la cantidad de alimento ofrecido se reduce hasta alcanzar el peso final de cosecha. Los dedinos son alimentados entre un 5 y 10% de su peso corporal, valor que se reduce a un 3 o 4% en los últimos estadios. Los reproductores se suelen alimentar alrededor del 1% (Stickney, 1979).

Tabla 17. Sugerencia de tasa de alimentación diaria y frecuencia alimenticia para varios tamaños de tilapia a 28 grados

Tamaño del pez	Tasa alimentación (% de PC)	Frecuencia (número de veces/día)
2 días a 1 g	30 – 10 %	8
1 – 5 g	10 – 6 %	6
5 – 20 g	6 – 4 %	4
20 – 100 g	4 – 3 %	3 – 4
+ 100 g	3 – 2 %	2 – 3

Fuente: Lim y Webster (2006)

La frecuencia alimentaria varía con el tamaño del pez y el ciclo de vida, ya que normalmente se reduce con el crecimiento del pez. En general, en las primeras etapas de vida se suelen dar de 6 a 8 raciones al día, mientras que en algunos casos se suelen aumentar las frecuencias dependiendo de la especie. Los animales más grandes se alimentan de 1 a 3 veces al día.

En tilapias se ha reportado el beneficio de una múltiple alimentación a lo largo del día. Esto se debe a que los animales tienen mayor hábito de consumo y estómagos más pequeños, por lo cual responden mejor

cuando el alimento se distribuye en varias raciones. Sin embargo, también existe un límite para la cantidad de raciones de alimento, pues si son demasiadas a lo largo del día no necesariamente será mejor la transformación del alimento (Lim y Webster, 2006).

La ventaja de la distribución del alimento en varias raciones es que reduce el tiempo en que el alimento está expuesto en el agua, lo cual tiende a reducir la desintegración del pellet y la pérdida de los nutrientes solubles en el agua. Otra razón fundamental para fragmentar las raciones en sistemas intensivos está asociada a la menor depleción de oxígeno postconsumo. Sin embargo, en ocasiones se deben evitar altas frecuencias alimenticias, sobre todo cuando se presentan enfermedades en el estanque, cuando la temperatura del agua es muy alta o cuando existen otras condiciones ambientales desfavorables para los animales (Lim y Webster, 2006).

Tabla 18. Tasa y frecuencia de alimentación sugerida para tilapias a diferentes temperaturas

Temperatura Agua °C	Peso promedio < 100 g		Peso promedio > 100 g	
	Tasa (% de TNA)	Frecuencia (núm./día)	Tasa (% de TNA)	Frecuencia (núm./día)
32 > T > 26	100	4	100	2 a 3
26 > T > 24	90	3	90	2
24 > T > 22	70	2	60	2
22 > T > 20	50	2	40	2
20 > T > 18	30	1 a 2	20	1
18 > T > 16	20	1	10	1
< 16	No alimentar		No alimentar	

TNA: tasa normal de alimentación

Fuente: Lim y Webster (2006)

5.1. Consumo aproximado estimado según biomasa

La cantidad de alimento a proporcionar diariamente se puede calcular con base en un porcentaje de la biomasa y, cuando es posible, los

animales se alimentan *ad libitum* (hasta saciarse). El porcentaje de peso corporal que se debe suministrar a diario varía con la temperatura, ya que el rango metabólico del pez está afectado por dicho parámetro. El porcentaje de alimento a suministrar debe ser determinado para cada especie. Los animales sedentarios pueden crecer más rápido a un rango o tasa de alimentación más baja, mientras que especies más activas pueden requerir tasas alimenticias más elevadas. Altas tasas alimentarias también pueden ser utilizadas para animales que no son eficientes para localizar su comida o para especies que tienden a desperdiciar comida mientras se están alimentando (Stickney, 1979).

La tasa de alimentación debe ser ajustada periódicamente, para hacerlo de manera adecuada se debe conocer, con la mayor precisión posible, el número de animales en el cultivo y el peso total. En los cultivos se deben realizar muestreos periódicos (quincenales o mensuales) de peso para determinar el peso promedio. Sin embargo, en la mayoría de los casos el principal problema radica en conocer la mortalidad que presenta un determinado estanque. En cultivos de altas densidades a veces es difícil observar los animales que quedan muertos en el fondo del estanque o, en determinados casos, conocer cuántos peces han muerto por canibalismo o por ataque de depredadores naturales.

Como ejemplo, se realizará un ajuste del cálculo de consumo de alimento requerido teniendo los datos de la población y del peso promedio.

Ejemplo de desarrollo que ilustra el concepto de alimentación con base en un porcentaje de la biomasa:

Calcular la cantidad de alimento a suministrar en un estanque con una población de 1.700 truchas con un peso promedio de 120 gramos. Los animales se alimentan con base en un 4% de su peso vivo.

$$\frac{1.700 \text{ Anim.} * 120 \text{ g/Anim.}}{1.000 \text{ g/kg}} = 204 \text{ kg biomasa Anim.}$$

$$204 \text{ kg biomasa Anim.} * 4\% \text{ peso vivo/alimento/día} = 8,16 \text{ kg alimento/día}$$

El limitante con este cálculo es que no se toman en cuenta las ganancias de peso/día. Si dicha tasa de alimentación (4%) se va a sostener hasta la siguiente semana, al suministrar 8,16 kg de alimento diario se estaría asumiendo que la biomasa del estanque se mantiene en 204 kg, lo cual es incorrecto.

De otro lado, al excluir el crecimiento o la ganancia de peso y continuar suministrando la misma cantidad de alimento, se estaría restringiendo la expresión genética de ganancia de peso, dado que los animales no contarían con la real cantidad de alimento que debería dárseles. Otros aspectos adicionales que no deben olvidarse son la consideración del efecto de la temperatura sobre las necesidades de alimento de los animales y la mortalidad que se va dando durante el periodo analizado.

Si se conoce la conversión se puede estimar la ganancia de peso diaria y de este modo obtener un consumo de alimento más preciso, considerando que los animales están en su temperatura óptima y que la concentración de oxígeno es adecuada.

Ejemplo de desarrollo que ilustra el concepto de alimentación con base en un porcentaje de la biomasa:

Se usará la misma información del ejercicio anterior (población estimada de 1.700 peces, peso promedio de 120 gramos y tasa de alimentación del 4%). La conversión es de 1,6. Calcular el consumo de alimento para dicho estanque y el consumo del mismo para el periodo siguiente (día, semana y mes).

$$\text{Biomasa} = \frac{1.700 \text{ Anim.} * 120 \text{ g/Anim.}}{1.000 \text{ g/kg}} = 204 \text{ kg biomasa Anim.}$$

$$204 \text{ kg biomasa Anim.} * 4\% \text{ peso vivo/alimento/día} = 8,16 \text{ kg alimento/día}$$

Teniendo en cuenta que:

$$\text{Conversión alimenticia (IC)} = \frac{\text{alimento consumido (kg)}}{\text{peso ganado (kg)}}$$

La ganancia de peso se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{8,16 \text{ kg alimento/día}}{1,6} = 5,1 \text{ kg de incremento de biomasa de los Anim.}$$

Por lo tanto, el consumo de alimento para el día dos sería el siguiente:

Nueva biomasa en estanque:

$$204 \text{ kg biomasa Anim.} + 5,1 \text{ kg incremento biomasa Anim.}$$

$$\text{Biomasa Anim. día dos} = 209,1 \text{ kg}$$

Para esta nueva biomasa el alimento a suministrar sería:

$$209,1 \text{ kg biomasa Anim. día dos} * 4\% \text{ alimento según biomasa Anim.}$$

$$\text{Alimento a suministrar} = 8,36 \text{ kg alimento/día}$$

Para estimar el consumo, Stickney (1979) expresó el procedimiento anterior con la siguiente ecuación:

$$W_t \text{ (kg)} = W_o \text{ (kg)} + (W_o \text{ (kg)} * \frac{F}{C})$$

Donde:

W_t = Peso de los animales en el día 1 (kg)

W_o = Peso de los animales en el día 0 (kg)

F = Tasa de alimentación (%)

C = Conversión alimenticia

Ejemplo de desarrollo que ilustra la ecuación de Stickney (1979):

Para el ejemplo que se ha venido usando (peso de los animales del estanque 204 kg, conversión 1,6 y tasa de alimentación 4% a una temperatura óptima), calcular la cantidad de alimento a suministrar.

$$W_t = 204 \text{ kg} + (204 \text{ kg} * \frac{0,04}{1,6}) = 209,1 \text{ kg}$$

El alimento a suministrar para W_t será:

209,1 kg biomasa Anim. día dos * 4% alimento según biomasa Anim.

Alimento a suministrar = 8,36 kg alimento/día

Stickney (1979) propuso un segundo método para calcular con más precisión la cantidad de alimento a suministrar:

$$W_t \text{ (kg)} = W_o \text{ (kg)} e^{(kt)}$$

Donde:

W_t = Peso al tiempo t

W_o = Peso al tiempo 0

e = Logaritmo neperiano

k = Tasa de alimentación (%) a conversión alimenticia

t = Tiempo en días del periodo de ajuste

Ejemplo de desarrollo que ilustra la segunda ecuación de Stickney (1979):

Se hace un muestreo en un estanque y se estima que la biomasa de la población es de 2.800 kg. El factor de conversión es de 1,62 y el porcentaje de alimento a suministrar, con base en la biomasa, es del 3%. Se desea conocer el consumo a los tres días luego del muestreo para determinar si el alimento existente en bodega será suficiente hasta la fecha deseada, en este caso cinco días.

$$Wt \text{ (kg)} = 2.800 \text{ kg } e^{(0,03/1,62)(5)} = 3.071,64 \text{ kg}$$

$$3.071,64 \text{ kg biomasa Anim.} * 4\% \text{ kg biomasa Anim./Alimento} = 122,87 \text{ Alimen./día}$$

Tabla 19. Valores de K, n y m para truchas según la temperatura

Especie	Temperatura	K	m	n
Trucha	T < 10 °C	$1,9 \times 1,9 * 10^{-6}$	-0,138	3,13
	T > 10 °C	$3,05 * 10^{-4}$	-0,138	1,855

Fuente: Liao (1971)

Blanco (1995) propone un método para conocer la tasa de alimentación (%) de la trucha arcoíris con base en algunas constantes provenientes de la fórmula de Liao (1971):

$$TN (\%) = \frac{K}{C} * W \text{ (lb)}^m T^n$$

Donde:

TN = Cantidad de alimento a suministrar como porcentaje de la biomasa

K, ^{m, n} = Son conocidos a través de la fórmula de Liao (1971)

W = Peso individual del animal expresado en libras

T = Temperatura en grados Fahrenheit

C = 300 g, lo cual representa la cantidad de oxígeno necesario para metabolizar un kilogramo de alimento.

Ejemplo de desarrollo que ilustra la ecuación de Liao (1971):

Se desea estimar la cantidad de alimento a suministrar en un lote de peces con un peso promedio por animal de 26 gramos. Dichos animales se encuentran a una temperatura de 56 grados Fahrenheit y la conversión alimenticia es de 1,436 (es de anotar que W y C deben expresarse en libras).

$$TN (\%) = \frac{K}{C} * W (\text{lb})^m T^n$$

$$TN (\%) = \frac{3,05 * 10^{-4}}{0,6613 \text{ lb}} * 0,0573^{-0,138} \text{ lb} * 56^{1,855}$$

TN (%) = 1,163% de la biomasa a suministrar por día

5.2. Conversión alimenticia

La tasa de alimentación es un parámetro que se debe revisar permanentemente. El mal crecimiento de los peces puede deberse a sobre o subalimentación, a enfermedad en el lote o a que el alimento balanceado no satisface los requerimientos nutricionales. Para determinar si los peces están convirtiendo eficientemente el alimento se acostumbra estimar el índice de conversión alimenticia (FCR) o la eficiencia de conversión alimenticia (FCE) (Stickney, 2009).

$$FCR = \frac{\text{Peso seco del alimento suministrado (kg)}}{\text{ganancia de peso húmedo (kg)}}$$

$$FCE (\%) = \frac{1}{FCR} * 100$$

El FCE se expresa como un porcentaje, mientras que el FCR como un índice que no tiene unidades.

Ejemplo de desarrollo que ilustra la ecuación de Stickney (2009):

Se requiere conocer el factor y la eficiencia de conversión alimenticia de una población de peces. El peso total de los animales cosechados fue de 782 kg. Inicialmente fueron sembrados 3.000 animales con peso promedio/Anim. de 3 gramos. La sumatoria del alimento suministrado a dicho estanque fue de 1.560 kg. Calcular el FCR y el FCE.

$$FCR = \frac{1.560 \text{ kg}}{782 \text{ kg peso total final} - 9 \text{ kg peso total inicial}}$$

$$FCR = \frac{1.560 \text{ kg}}{773 \text{ kg}} = 2,018$$

Los animales deben consumir 2,018 kg de alimento para ganar 1 kg de peso.

En general, una buena conversión alimenticia para la mayoría de organismos acuáticos está dentro de un rango de 1,5 a 2,0 (Stickney, 2009), por lo tanto, dicho valor está en límites aceptables.

$$\text{FCE (\%)} = \frac{1}{2,018} * 100 = 49,55\%$$

Esto significa que por cada kg de alimento consumido los animales únicamente aprovecharon el 49,55% del mismo.

La mayoría de productores no consideran la humedad del alimento balanceado para estimar los kg de alimento seco suministrado. Sin embargo, si se considera que un alimento peletizado puede tener entre 9 y 10% de agua, los valores de FCR y FCE pueden cambiar.

En el ejemplo anterior, se asume que el alimento balanceado posee un 10% de humedad, por lo tanto, la cantidad real de peso seco sería igual a:

$$\text{Contenido de humedad (kg)} = 1.560 \text{ kg} * 0,1 = 156 \text{ kg de humedad}$$

$$\text{Peso seco (kg)} = 1.560 \text{ kg} - 156 \text{ kg} = 1.404 \text{ kg}$$

$$\text{FCR} = \frac{1.404 \text{ kg}}{773 \text{ kg}} = 1,816$$

$$\text{FCE (\%)} = \frac{1}{1,816} * 100 = 55,066\%$$

Comparando ambos resultados, la eficiencia mejora en más de un 5% y el FCR en 0,19.

En algunos casos, el FCR puede dar por debajo de 1 o el FCE por encima del 100%. Esto se debe a que en dichos cálculos solo se considera el alimento balanceado suministrado y no se valora el alimento vivo pre-

sente en el agua, el cual puede ser aprovechado por los peces. Por otro lado, en dichos valores se considera el peso húmedo de los animales y en algunos casos este puede llegar a ser hasta el 70% del pez. Cuando se presenta un FCR por encima de 3 se considera que los animales tienen muy mal desempeño. Sin embargo, pueden existir cultivos de peces con índices de conversión inadecuados pero buen precio de mercado, por lo que el alto costo del alimento se compensa ampliamente con el precio de venta y se mantiene la rentabilidad (Stickney, 2009).

5.3. Crecimiento estimado

El crecimiento animal se considera como el aumento en tamaño y los cambios producidos en las funciones de los distintos órganos y tejidos, los cuales ocurren a lo largo de la vida del animal desde el momento mismo de la concepción. Es un proceso multifactorial y complejo que incluye fenómenos de hipertrofia e hiperplasia tisulares (García et al., 1996; Cunningham y Klein, 2009).

Una de las metas de la acuicultura es producir un cultivo en el menor tiempo posible. Un tamaño de cosecha ideal para animales acuícolas ocurre al momento en que la tasa de crecimiento comienza a decaer significativamente. La reducción en dicha tasa también se ve acompañada por una disminución en la eficiencia de la conversión alimenticia (Stickney, 1979).

El crecimiento de los peces está fundamentado principalmente en el alimento que ingieren, los nutrientes y la energía que obtienen de éste y la temperatura del medio en que se encuentran. Como ya es conocido, al ser organismos poiquilotermos los peces son incapaces de regular su temperatura corporal, por lo que sus funciones metabólicas, la asimilación de alimento y el crecimiento máximo solo se ven expresados bajo

condiciones de temperatura que estén dentro de los rangos ideales para la especie (Jover, 2000).

En lo que se refiere al crecimiento, será mayor cuando el animal sea alimentado a saciedad (*ad libitum*), sin desconocer que la cantidad óptima de alimentación debe tener en cuenta la biomasa de los animales y la eficiencia económica.

La tasa de crecimiento es también conocida como tasa de crecimiento instantánea (TCI) o tasa de crecimiento específico (TCE) y es utilizada para evaluar el crecimiento de los peces en función del peso final, el peso inicial y los días de crecimiento. Esta tasa se consigue a través de la siguiente expresión:

$$TCI = \frac{\ln Pf \text{ Anim. (kg)} - \ln Pi \text{ Anim. (kg)}}{t \text{ (días)}} * 100$$

Donde:

TCI = Tasa de crecimiento instantáneo

Pf = Peso final de los animales (kg)

Pi = Peso inicial de los animales (kg)

t = Tiempo transcurrido (duración del periodo en días)

Los valores de TCI disminuyen porcentualmente a medida que los peces aumentan de peso. Es de considerar que en este modelo no se tiene en cuenta la temperatura del agua. La comparación de los crecimientos de diferentes lotes resulta difícil con este modelo, a menos que se presente un tamaño inicial similar.

La TCI no debe calcularse individualmente, pues cuando se estima por animal no se consideran aspectos como mortalidad durante el periodo, por lo tanto, el valor obtenido estaría sobreestimado. Así, cuando se calcula la TCI para la totalidad de la población se necesita considerar el nú-

mero inicial y el número final de animales en el periodo, lo que significa que se tome en cuenta la mortalidad durante el mismo. Sin embargo, el peso total inicial debe calcularse con el número de animales que inician y no solo con el de los que finalizan.

Ejemplo de desarrollo que ilustra la ecuación de TCI:

Calcular la TCI con los siguientes datos:

Número inicial = 125.000 poslarvas de 1 día

Peso inicial total = 6,87 kg

Duración del periodo = 30 días

Mortalidad durante el periodo = 13%

Porcentaje de animales muestreados al final del periodo = 3,5%

Peso de la muestra final = 2,32 kg

Para realizar este ejercicio debe conocerse el peso inicial total y el peso final total. El peso final total depende de la sobrevivencia y se debe calcular de acuerdo al peso de la muestra.

Núm. Final Anim. = 125.000 Anim. * 87 (% sobrevivencia) = 108.750 Anim.

Peso final Anim.:

Si 3,5% pesaron → 2,32 kg

El 100% pesarán → X kg

X = 66,29 kg

$$TCI = \frac{\ln 66,29 \text{ kg} - \ln 6,87 \text{ kg}}{30 \text{ días}} * 100 = 7,556\%$$

Este resultado significa que, durante el periodo evaluado, los animales de ese lote crecieron cada día el 7,556% de su peso.

Sin embargo, y ante las limitaciones que podría presentar esta ecuación, Cho (1992) relaciona de manera más adecuada una predicción del cre-

cimiento usando un índice denominado coeficiente de crecimiento térmico (CCT), que es expresado de la siguiente forma (Jover, 2000):

$$\text{CCT} = \frac{\text{Pf}^{1/3} - \text{Pi}^{1/3}}{\text{suma de grados día}}$$

Donde:

Pf = Peso final de los animales

Pi= Peso inicial de los animales

De esta expresión se deduce la ganancia de peso en un periodo dado:

$$\text{Pf} = [\text{Pi}^{1/3} + (\text{CCT} * \text{suma grados día})]^3$$

La predicción del crecimiento se realiza en función de la temperatura media del agua prevista en la región; mientras que para un ciclo de crecimiento en marcha la estimación de los pesos se realiza considerando la suma de temperaturas reales medidas en la granja. De esta forma se puede estimar el crecimiento de los peces durante las diferentes épocas del año, así como controlar la evolución real de un lote a partir del control del peso de los animales. En la Tabla 20 se muestran algunos valores de CCT de algunas especies comerciales de importancia.

Tabla 20. Coeficiente de crecimiento térmico (CCT) de trucha arcoíris, tilapia y carpa común

Especie	Rango
Trucha arcoíris	1,52 – 1,73 x 10 ⁻³
Carpa común	0,95 – 1,57 x 10 ⁻³
Tilapia	1,01 – 1,41 x 10 ⁻³

Fuente: adaptada de Jover (2000)

Ejemplo de desarrollo que ilustra las ecuaciones de Stickney (1979), Cho (1992) y (Jover, 2000):

Calcular el peso final de un cultivo de trucha con las siguientes características:

Peso inicial: 3 g

Temperatura promedio: 18°C

Duración del cultivo (días): 279

Con estos datos se procede de la siguiente forma:

Suma grados día = 279 días * 18°C/día = 5.022°C

CCT = $1,625 * 10^{-3}$ (valor promedio para trucha) (Jover, 2.000)

Reemplazando en la igualdad de la siguiente forma:

$P_f (g) = [P_i^{1/3} (g) + (CCT * \text{suma grados día})]^3$

$P_f (g) = [3^{1/3} g + (1,625 * 10^{-3} * 5.022)]^3 = 885,57 g$

Al cabo de los 279 días, a una temperatura de 18°C, los animales tendrán un peso de 885,57 g.

5.4. Evaluación de productividad

La evaluación técnica de una población en producción puede calcularse a partir del peso final obtenido, la duración del ciclo y la conversión alimenticia. Esta evaluación puede estar dada en términos de g/m²/día y t/ha/año.

Ejemplo de desarrollo que ilustra la evaluación de la productividad:

Se tienen dos granjas productoras de trucha con la siguiente situación:

	Granja 1	Granja 2
Densidad de siembra:	54 Anim./m ²	58 Anim./m ²
Duración del ciclo productivo:	290 días	305 días
Peso al sacrificio:	335 g	320 g

Se necesita saber:

1. *Cuál de las dos granjas es más productiva (expresar la producción en g/m²/día y en t/ha/año).*

$$\text{Granja 1} = \frac{54 \text{ Anim./m}^2 * 335 \text{ g/Anim.}}{290 \text{ días}} = 62,38 \text{ g/m}^2/\text{día}$$

$$\text{Granja 1} = \frac{62,38 \text{ g/m}^2/\text{día} * 10.000 \text{ m}^2/\text{ha} * 365 \text{ días/año}}{1.000.000 \text{ g/t}} = 227,68 \text{ t/ha/año}$$

$$\text{Granja 2} = \frac{58 \text{ Anim./m}^2 * 320 \text{ g/Anim.}}{305 \text{ días}} = 60,85 \text{ g/m}^2/\text{día}$$

$$\text{Granja 2} = \frac{60,85 \text{ g/m}^2/\text{día} * 10.000 \text{ m}^2/\text{ha} * 365 \text{ días/año}}{1.000.000 \text{ g/t}} = 222,1168 \text{ t/ha/año}$$

Diferencia de producción entre granjas = producción Granja 1 – producción Granja 2

Diferencia de producción entre granjas = 227,68 t/ha/año – 222,11 t/ha/año

Diferencia de producción entre granjas = 5,57 t/ha/año

La Granja 1 es más productiva que la Granja 2 en 5,57 t/ha/año, es decir, produce 15,27 kg/ha más cada día.

2. *¿A cuánto debe elevarse la densidad de la granja menos productiva para igualar la producción de la mejor granja?*

Si la Granja 2 necesita igualar la producción de la Granja 1 se necesita conocer la producción por día que se quiere igualar. Para ello se debe recalcular la densidad, la cual debería ser mayor a la que tiene actualmente (58 Anim./m²), para alcanzar la producción deseada conservando la duración de ciclo y el peso final por animal de la Granja 2:

Nueva densidad para igualar producción Granja 1 =

$$\frac{X \text{ Anim./m}^2 * 320 \text{ g/Anim.}}{305 \text{ días}} = 62,38 \text{ g/m}^2/\text{día}$$

$$\text{Nueva densidad Granja 2 (Anim./m}^2) = \frac{62,38 \text{ g/m}^2/\text{día} * 305 \text{ días}}{320 \text{ g/Anim.}} = 59,45 \text{ Anim./m}^2$$

La densidad de la Granja 2 debería ser de 59,45 animales/m² para igualar la producción de la Granja 1, es decir, deberá tener una densidad de 1,45 animales más por m².

3. *¿Cuánto debería disminuir el ciclo de producción de la granja menos productiva para igualar la producción de la mejor granja?*

Si la Granja 2 requiere igualar la producción de la Granja 1, el planteamiento sería tener la producción por día que se quiere igualar. Se debe recalcular la duración del ciclo de producción, el cual debería ser menor al actual (305 días) para alcanzar la producción deseada conservando la densidad y el peso final por animal que tiene la Granja 2:

Nueva duración para igualar producción Granja 1 =

$$\frac{X \text{ Anim./m}^2 * 320 \text{ g/Anim.}}{305 \text{ días}} = 62,38 \text{ g/m}^2/\text{día}$$

$$\text{Nueva duración del ciclo Granja 2 (días)} = \frac{58 \text{ Anim./m}^2 * 320 \text{ días}}{62,32 \text{ g/m}^2/\text{día}} = 297,53 \text{ días}$$

La duración del ciclo en la Granja 2 debería ser de 297,53 días para igualar la producción de la Granja 1, es decir, debería durar 7,18 días menos de lo que dura actualmente (305 días).

4. *¿A qué peso se deberán llevar los animales de la granja menos productiva para igualar la producción de la mejor granja?*

Si la Granja 2 requiere igualar la producción de la Granja 1 el planteamiento sería tener la producción por día que se quiere igualar. Se debe recalcular el peso final de los animales, el cual debería ser superior al actual (320 g), para alcanzar la producción deseada conservando la densidad y la duración del ciclo que tiene la Granja 2:

Nuevo peso final para igualar producción Granja 1 (g/m²/día) =

$$\frac{58 \text{ Anim./m}^2 * X \text{ g/Anim.}}{305 \text{ días}} = 62,38 \text{ g/m}^2/\text{día}$$

$$\text{Nuevo peso final Granja 2 (g/Anim.)} = \frac{62,38 \text{ g/m}^2/\text{día} * 305 \text{ días}}{58 \text{ Anim./m}^2} = 328,03 \text{ g/Anim.}$$

El peso final de cada animal en la Granja 2 debería ser de 328,03 g para igualar la producción de la Granja 1, es decir, debería tener 8,03 g más de peso final del que tiene actualmente (320 g).

Realizar estos análisis en los que se estiman nuevos parámetros de densidad, duración del ciclo o peso final de los animales, permitirá tomar una decisión sobre cuál de los retos sería menos difícil de obtener conservando los otros dos valores o parámetros constantes (iguales a los que tenían).

5.5. Cálculo sobre ganancia de peso

La literatura existente reporta algunos valores de referencia para la ganancia de peso/animal/día según la especie y la fase de vida por especie. Cuando no se conoce la real duración de cada fase, debe estimarse el tiempo que debería tardar un animal para alcanzar un peso de venta o de sacrificio con base en lo reportado.

Se presenta un sencillo ejercicio sobre cómo podría estimarse este valor con un resultado aproximado en caso tal de no tenerse información propia de la granja para dicho parámetro.

Ejemplo de desarrollo que ilustra ganancia de peso:

En una granja que ha comprado 10.000 poslarvas de 0,3 g de peso, se desea conocer el tiempo que tardarían los animales en llegar a 650 g de peso húmedo para comercializarlos en presentación de 2 animales procesados/kg.

Se debe calcular la ganancia de peso por día para cada fase. La información que permite realizar el cálculo requerido se extrae de la Tabla 24 (ver Capítulo 8).

Tabla 21. Parámetros de peso y duración fases de vida y ganancia peso día (g) para tilapia

Fase de vida	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Duración periodo (días)	Ganancia peso (g/Anim./día)
Poslarva	0,1	0,5	28 – 30	0,0155
Alevino	0,5	6,0	20	0,275
Juvenil o levante	6,0	80	70	1,057
Engorde I	80	400	100	3,20
Engorde II	400	750	95	3,68

Fuente: recopilación de los autores

Para alcanzar dicho peso se deben sumar todos los periodos teniendo en cuenta en qué peso inician y en qué peso finalizan (Tabla 21).

Poslarva (PL):

Peso inicial = 0,3 g

Peso final = 0,5 g

La ganancia de peso en esta fase es de 0,0155 g/Anim./día.

$$\text{Días para alcanzar peso final PL} = \frac{0,5 \text{ g/Anim.} - 0,3 \text{ g/Anim.}}{0,0155 \text{ g/Anim./día}} = 12,90 \text{ días}$$

Alevinaje (A): 20 días (no es necesario calcularlo dado que toda la fase estará en granja).

Juvenil (J): 70 días (no es necesario calcularlo dado que toda la fase estará en granja).

Engorde I (EI): 100 días (no es necesario calcularlo dado que toda la fase estará en granja).

Engorde II (EII):

Peso inicial = 400 g

Peso final = 650 g

La ganancia de peso en esta fase es de 3,68 g/Anim./día.

$$\text{Días para alcanzar peso final EII} = \frac{650 \text{ g/Anim.} - 400 \text{ g/Anim.}}{3,68 \text{ g/Anim./día}} = 67,93 \text{ días}$$

Días para alcanzar 650g = 13 días PL + 20 días A + 70 días J + 100 días EI + 67,93 días EII

Días para alcanzar 650 g = 270,83 días

6

Programación de una granja piscícola

Objetivo de producción:

El objetivo de producción significa empezar por el número final de animales para conocer el número de reproductores requeridos.

6.1. Cálculo del número de reproductores y animales de cada fase en la granja

Es importante recordar que, según el objetivo de producción, se debe emplear el numeral correspondiente para producción y venta de ovas, larvas, poslarvas, alevinos, juveniles o levante, animales de ceba I, ceba II, hembras futuras reproductoras para venta o machos futuros reproductores para venta o varios objetivos de los mencionados u otros pertinentes.

Deberán usarse las siguientes abreviaturas:

Ritmo de producción	RP
Ciclo reproductivo	CR
Hembras efectivas	HE
Ovas embrionadas	OE
Larvas	L
Poslarvas	PL
Alevinos	A
Juveniles	J
Animales de Ceba I	Anim. CI
Animales de Ceba II	Anim. CII
Hembras futuras reproductoras	HFR
Machos futuros reproductores	MFT
Hembra de reemplazo	HR
Macho de reemplazo	MR
Porcentaje de fertilidad	% FE
Porcentaje de sobrevivencia embrionaria	% SE
Porcentaje de eclosión	% E
Porcentaje de sobrevivencia de larva	% SL
Porcentaje de sobrevivencia de poslarva	% SPL
Porcentaje de sobrevivencia de alevino	% SA
Porcentaje de sobrevivencia de dedino (solo en trucha)	% SD
Porcentaje de sobrevivencia de juvenil	% SJ
Porcentaje de sobrevivencia de engorde I o ceba I	% SCI
Porcentaje de sobrevivencia de engorde II o ceba II	% SCII
Porcentaje de sobrevivencia hembras futuras reproductoras para venta	% SHFRV
Porcentaje de sobrevivencia machos futuros reproductores para venta	% SMFRV
Porcentaje de sobrevivencia de hembras de reemplazo	% SHR
Porcentaje de sobrevivencia de machos de reemplazo	% SMR

6.1.1. Número de ovas embrionadas para venta y reproductoras requeridas

$$\text{Ovas embrionadas para venta/CR} = \frac{\text{OE para venta/RP} * \text{núm. periodos por año según RP}}{\text{núm. desoves o CR por hembra por año}}$$

$$\text{Ovas necesarias para venta de OE/CR} = \frac{\text{OE para venta/CR}}{\% \text{ FE} * \% \text{ SE}}$$

$$\text{Reproductoras requeridas para venta de OE (A)} = \frac{\text{ovas necesarias para venta de OE/CR}}{\% \text{ HE} * \text{núm. huevos por HE/CR}}$$

6.1.2. Número de larvas para venta y reproductoras requeridas

$$\text{Larvas para ventas/CR} = \frac{\text{L para venta/RP} * \text{núm. periodos por año según RP}}{\text{núm. CR por hembra por año}}$$

$$\text{Ovas necesarias para venta de L/CR} = \frac{\text{L para venta/CR}}{\% \text{ FE} * \% \text{ SE} * \% \text{ E} * \% \text{ SL}}$$

$$\text{Reproductoras requeridas para venta de L (B)} = \frac{\text{ovas necesarias para venta de L/CR}}{\% \text{ HE} * \text{núm. huevos por HE/CR}}$$

6.1.3. Número de poslarvas para venta y reproductoras requeridas

$$\text{Poslarvas para venta/CR} = \frac{\text{PL para venta/RP} * \text{núm. periodos por año según RP}}{\text{núm. CR por hembra por año}}$$

$$\text{Ovas necesarias para venta de PL/CR} = \frac{\text{PL para venta/CR}}{\% \text{ FE} * \% \text{ SE} * \% \text{ E} * \% \text{ SL} * \% \text{ SPL}}$$

$$\text{Reproductoras requeridas para venta de PL (C)} = \frac{\text{ovas necesarias para venta de PL/CR}}{\% \text{ HE} * \text{núm. huevos por HE/CR}}$$

6.1.4. Número de alevinos para venta y reproductoras requeridas

$$\text{Alevinos para venta/CR} = \frac{\text{A para venta/RP} * \text{núm. periodos por año según RP}}{\text{núm. CR por hembra por año}}$$

$$\text{Ovas necesarias para venta de A/CR} = \frac{\text{A para venta/CR}}{\% \text{ FE} * \% \text{ SE} * \% \text{ E} * \% \text{ SL} * \% \text{ SPL} * \% \text{ SA}}$$

$$\text{Reproductoras requeridas para venta de A (D)} = \frac{\text{ovas necesarias para venta de A/CR}}{\% \text{ HE} * \text{núm. huevos por HE/CR}}$$

6.1.5. Número de juveniles o animales de levante para venta y reproductoras requeridas

$$\text{Juveniles para venta/CR} = \frac{\text{J para venta/RP} * \text{núm. periodos por año según RP}}{\text{núm. CR por hembra por año}}$$

$$\text{Ovas necesarias para venta de J/CR} = \frac{\text{J para venta/CR}}{\% \text{ FE} * \% \text{ SE} * \% \text{ E} * \% \text{ SL} * \% \text{ SPL} * \% \text{ SA} * \% \text{ SJ}}$$

$$\text{Reproductoras requeridas para venta de J (E)} = \frac{\text{ovas necesarias para venta de J/CR}}{\% \text{ HE} * \text{núm. huevos por HE/CR}}$$

6.1.6. Número de animales de ceba I para venta y reproductoras requeridas

$$\text{Anim. CI para venta/CR} = \frac{\text{Anim.CI para venta/RP} * \text{núm. periodos por año según RP}}{\text{núm. CR por hembra por año}}$$

$$\text{Ovas necesarias para venta de Anim. CI/CR} =$$

$$\frac{\text{Anim.CI para venta/CR}}{\% \text{ FE} * \% \text{ SE} * \% \text{ E} * \% \text{ SL} * \% \text{ SPL} * \% \text{ SA} * \% \text{ SJ} * \% \text{ SCI}}$$

$$\text{Reproductoras requeridas para venta de Anim. CI (F)} =$$

$$\frac{\text{ovas necesarias para venta de Anim. CI/CR}}{\% \text{ HE} * \text{núm. huevos por HE/CR}}$$

6.1.7. Número de animales de ceba II para venta y reproductoras requeridas

$$\text{Anim. CII para venta/CR} = \frac{\text{Anim. CII para venta/RP} * \text{núm. periodos por año según RP}}{\text{núm. CR por hembra por año}}$$

Ovas necesarias para venta de Anim. CII/CR =

$$\frac{\text{Anim. CII para venta/CR}}{\% \text{ FE} * \% \text{ SE} * \% \text{ E} * \% \text{ SL} * \% \text{ SPL} * \% \text{ SA} * \% \text{ SJ} * \% \text{ SCI} * \% \text{ SCII}}$$

Reproductoras requeridas para venta de Anim. CII (G) =

$$\frac{\text{ovas necesarias para venta de Anim. CII/CR}}{\% \text{ HE} * \text{núm. huevos por HE/CR}}$$

6.1.8. Hembras futuras reproductoras para la venta y reproductoras requeridas

$$\text{HFR para venta/CR} = \frac{\text{HFR para venta/RP} * \text{núm. periodos por año según RP}}{\text{núm. CR por hembra por año}}$$

Ovas necesarias para venta de HFR/CR =

$$\frac{\text{HFR para venta/CR}}{\% \text{ FE} * \% \text{ SE} * \% \text{ E} * \% \text{ SL} * \% \text{ SPL} * \% \text{ SA} * \% \text{ SJ} * \% \text{ SCI} * \% \text{ SCII} * \% \text{ SHFRV}}$$

Reproductoras requeridas para venta de HFR (H) =

$$\frac{\text{ovas necesarias para venta de HFR/CR}}{\% \text{ HE} * \text{núm. huevos por HE/CR}}$$

6.1.9. Machos futuros reproductores para la venta y reproductoras requeridas

$$\text{MFR para venta/CR} = \frac{\text{MFR para venta/RP} * \text{núm. periodos por año según RP}}{\text{núm. CR por hembra por año}}$$

Ovas necesarias para venta de MFR/CR =

$$\frac{\text{MFR para venta/CR}}{\% \text{ FE} * \% \text{ SE} * \% \text{ E} * \% \text{ SL} * \% \text{ SPL} * \% \text{ SA} * \% \text{ SJ} * \% \text{ SCI} * \% \text{ SCII} * \% \text{ SMFRV}}$$

$$\text{Reproductoras requeridas para venta de MFR (I)} = \frac{\text{ovas necesarias para venta de MFR/CR}}{\% \text{ HE} * \text{núm. huevos por HE/CR}}$$

6.1.10. Número de reproductoras y de reproductores en granja (subtotal) ♀♂

Núm. reproductoras (subtotal) = sumatoria de hembras requeridas para producción y venta de: OE (A) + L (B) + PL (C) + A (D) + J (E) + Anim. CI (F) + Anim. CII (G) + HFR (H) + MFRV (I)

La proporción entre reproductoras y reproductores en granja depende de factores como el número de huevos producidos por hembra, la especie, si la producción es comercial o es una granja genética, el riesgo de consanguinidad, la producción de semen por parte del reproductor, la talla de los animales, entre otras. Suelen emplearse proporciones variables de 3♀: 1♂; 1♀: 2♂(cachama); 1♀ 1♂(granjas calidad genética), etc.

$$\text{Núm. reproductores en granja (subtotal)} = \frac{\text{Núm. reproductoras (subtotal)}}{\text{Proporción hembras:machos (♀:♂)}}$$

Nota: para los numerales 6.1.11 y 6.1.12 se deberá tener en cuenta el número de animales calculado, pues habrá que aumentarlo de acuerdo a la intensidad de selección. Además, deberá contarse solo con el 50% de lo obtenido en cría, ya que la mitad de lo que se trabaje serán machos y la otra mitad serán hembras.

6.1.11. Hembras de reemplazo para la granja y reproductoras requeridas

Hembras de reemplazo/año = núm. reproductoras (subtotal) * % reposición/año

Ovas necesarias para producción de HR/CR =

$$\frac{\text{HR/año} * 2 \text{ (50\% de los huevos dará origen a machos)}}{\text{núm. CR/♀/año} * \% \text{ FE} * \% \text{ SE} * \% \text{ E} * \% \text{ SL} * \% \text{ SPL} * \% \text{ SA} * \% \text{ SJ} * \% \text{ SCI} * \% \text{ SCII} * \% \text{ SHR}}$$

Reproductoras requeridas para venta de HR (J) =

$$\frac{\text{ovas necesarias para venta de HR/CR}}{\% \text{ IS} * \% \text{ HE} * \text{núm. huevos por HE/CR}}$$

6.1.12. Machos de reemplazo en la granja y reproductoras requeridas

Machos de reemplazo/año = núm. reproductores (subtotal) * % reposición/año

Ovas necesarias para producción de MR/CR =

$$\frac{\text{MR/año} * 2 \text{ (50\% de los huevos dará origen a hembras)}}{\text{núm. CR/♀/año} * \% \text{ FE} * \% \text{ SE} * \% \text{ E} * \% \text{ SL} * \% \text{ SPL} * \% \text{ SA} * \% \text{ SJ} * \% \text{ SCI} * \% \text{ SCII} * \% \text{ SMR}}$$

Reproductoras requeridas para producción de MR (K) =

$$\frac{\text{ovas necesarias para producción de MR/CR}}{\% \text{ IS} * \% \text{ HE} * \text{núm. huevos por HE/CR}}$$

6.1.13. Número de reproductoras (total):

Núm. total reproductoras = Núm. reproductoras (subtotal) + ♀ para HR (J) + ♀ para MR (K)

Núm. total reproductoras = _____

6.1.14. Número total de reproductores en granja:

$$\text{Núm. total reproductores en granja} = \frac{\text{Núm. total reproductoras}}{\text{Proporción hembras:machos (♀:♂)}}$$

6.2. Distribución de la población en lotes e inventario (stock) de animales en granja

Nota: los lotes deben dar un número entero siempre y sin aproximar. El número entero de lotes se obtiene con un valor equivalente a días de ajuste o, en los casos que aplique, a profilaxis. Las profilaxis deberán tener el tiempo suficiente para la limpieza.

Cuando los estanques o piscinas son pequeñas o el tiempo de uso es corto, se requiere menor tiempo de profilaxis. Tener en cuenta para la programación que los problemas sanitarios también pueden exigir más tiempo, pero no exceder 15 días salvo en incubadoras o canaletas donde el corto uso obliga a que los vacíos sean mayores.

Cuando se programan lotes de ceba I y lotes de ceba II, se deberá pensar en una profilaxis más larga, por si hay retraso en cosecha, cosechas parciales o el volumen de pesca obliga a cosechas que tardan varios días.

Es de suma importancia recordar que, para el cálculo de lotes de reproductoras de cachama, tilapia y trucha, no aplica aumentar el periodo de ajuste porque incrementa la duración del intervalo entre desoves (IED) y desmejora la eficiencia productiva. Cuando es posible, lo que se busca es reducir el IED.

Para el cálculo de los inventarios de cada fase se requiere hacer con antelación la distribución de la población en lotes o módulos. Para calcular el inventario en cada fase recuerde sumar los animales que debe mantener por cada objetivo de producción, ya que se debe obtener el inventario total por cada una de las fases. El ritmo o frecuencia de producción (RP) es expresado en días, quincenas, mes, etc.

6.2.1. Lotes de reproductores

6.2.1.1. Cachamas

Para esta especie hay que tener en cuenta que el número de lotes no podrá ser por los 12 meses del año, ya que solo se reproducen durante 5 a 6 meses del año según la región del país. Por tanto, los lotes solo se obtendrían para ese número de meses o lotes así:

Núm. días/año de reproducción de cachama = núm. meses/año en reproducción * 30,41 días/mes

$$\text{Núm. desoves/cachama/año} = 1$$

$$\text{Lotes reproductoras cachama} = \frac{\text{núm. días año para reproducción de cachama}}{\text{RP (días)}}$$

***NO AJUSTAR A NÚMERO ENTERO**

$$\text{Núm. reproductoras cachama/lote} = \frac{\text{núm. total de reproductoras de cachama en granja}}{\text{lotes de reproductoras de cachama}}$$

6.2.1.2. Truchas

Esta especie cuenta con dos ciclos reproductivos al año, por lo tanto, los lotes dependerán del ritmo de producción:

$$\text{Intervalo entre desoves (IED) (días)} = \frac{365 \text{ días/año}}{2 \text{ desoves/año}}$$

$$\text{Lotes reproductoras trucha} = \frac{\text{IED (días)}}{\text{RP (días)}}$$

***NO AJUSTAR A NÚMERO ENTERO**

$$\text{Núm. reproductoras trucha/lote} = \frac{\text{núm. total de reproductoras de trucha en granja}}{\text{lotes de reproductoras de trucha}}$$

6.2.1.3. Tilapias

De acuerdo a la producción de huevos, desoves/hembra/año, efectividad de las mismas y a los periodos trabajo-descanso programados. Algunos productores no programan descanso en los lotes de reproducción y solo hacen traslados de los lotes de reproductores.

$$\text{Intervalo entre desoves (IED) (días)} = \frac{365 \text{ días/año}}{\text{núm. desoves/año}}$$

$$\text{Lotes reproductoras tilapia} = \frac{\text{IED (días)}}{\text{RP (días)}}$$

***NO AJUSTAR A NÚMERO ENTERO**

$$\text{Núm. reproductoras tilapia/lote} = \frac{\text{núm. total de reproductoras de tilapia en granja}}{\text{lotes de reproductoras de tilapia}}$$

Nota: algunas granjas no aplican descanso para las (los) reproductoras(es) de tilapia, dado que al momento de la separación de machos y hembras se puede incidir negativamente en las que están iniciando su nueva maduración de ovocitos. Solo dan descanso cuando los indicadores reproductivos del lote descienden.

6.2.1.4. Reproductores machos

El número de machos reproductores finales podrá variar con respecto al subtotal de hembras reproductoras, pues cuando se calcula el número total de machos reproductores en granja no se tiene en cuenta el número de hembras reproductoras que dará origen a los machos de reemplazo. Por lo tanto, posteriormente se deberá ajustar el subtotal de machos reproductores.

El número de lotes es el mismo que el de las hembras, independientemente que los machos presenten semen a las pocas semanas luego de espermiar. Si se usan los mismos reproductores cuando se hayan recuperado de su última espermiación, se incrementará aceleradamente la consanguinidad en la granja.

$$\text{núm. reproductores machos/lote} = \frac{\text{núm. total de reproductores machos en granja}}{\text{núm. lotes de reproductores machos}}$$

Para calcular el inventario de cada fase se deben realizar los siguientes pasos. A continuación presentamos un ejemplo para la fase de ovas.

6.2.2. Lotes de ovas (incubadoras)

$$\text{núm. lotes ovas} = \frac{\text{duración incubación (días)} + \text{profilaxis (días)}}{\text{RP (días)}}$$

Para calcular el inventario de cada fase se deben seguir los siguientes pasos:

núm. inicial huevos/lote = núm. reproductoras hembras lote * % HE * núm. huevos/desove/HE

núm. final ovas/lote = núm. inicial huevos/lote * % F * % SE * % E

núm. promedio ovas/lote = $\frac{\text{núm. inicial huevos/lote} + \text{núm. final ovas/lote}}{2}$

Nota: hacer esto para cada fase agregando los parámetros necesarios a medida que se avanza en la fase de vida. También se puede tomar el número final de animales por lote como número inicial de animales por lote para la siguiente fase de vida.

Inventario ovas:

Ovas totales promedio/granja = núm. ovas promedio/lote * núm. lotes ovas

6.2.3. Lotes de ovas embrionadas importadas (incubadora o en canaleta)

*Este ítem aplica solo para truchas

núm. lotes ovas importadas = $\frac{\text{duración resto incubación (días)} + \text{profilaxis (días)}}{\text{RP (días)}}$

núm. promedio ovas importadas/lote =

$\frac{\text{núm. inicial ovas importadas/lote} + \text{núm. final ovas importadas/lote}}{2}$

Inventario ovas importadas:

Ovas importadas totales promedio/granja =

núm. promedio ovas importadas/lote * núm. lotes ovas importadas

6.2.4. Lotes de larvas (en canaletas, tanques, estanques)

$$\text{núm. lotes L} = \frac{\text{duración periodo L (días)} + \text{profilaxis (días)}}{\text{RP (días)}}$$

$$\text{núm. inicial L/lote} = \text{núm. final ovas/lote}$$

$$\text{núm. final L/lote} = \text{núm. inicial L/lote} * \% \text{ SL}$$

$$\text{núm. promedio L/lote} = \frac{\text{núm. inicial L/lote} + \text{núm. final L/lote}}{2}$$

Inventario larvas:

$$\text{L totales promedio/granja} = \text{núm. promedio L/lote} * \text{núm. lotes L}$$

6.2.5. Lotes de poslarvas (canaletas, tanques, estanques)

$$\text{núm. lotes PL} = \frac{\text{duración periodo PL (días)} + \text{profilaxis (días)}}{\text{RP (días)}}$$

$$\text{núm. inicial PL/lote} = \text{núm. final L/lote}$$

$$\text{núm. final PL/lote} = \text{núm. inicial PL/lote} * \% \text{ SPL}$$

$$\text{núm. promedio PL/lote} = \frac{\text{núm. inicial PL/lote} + \text{núm. final PL/lote}}{2}$$

Inventario poslarvas:

$$\text{PL totales promedio/granja} = \text{núm. PL promedio/lote} * \text{núm. lotes PL}$$

6.2.6. Lotes de alevinos

$$\text{núm. lotes A} = \frac{\text{duración periodo A (días)} + \text{profilaxis (días)}}{\text{RP (días)}}$$

$$\text{núm. inicial A/lote} = \text{núm. final PL/lote}$$

$$\text{núm. final A/lote} = \text{núm. inicial A/lote} * \% \text{ SA}$$

$$\text{núm. promedio A/lote} = \frac{\text{núm. inicial A/lote} + \text{núm. final A/lote}}{2}$$

Inventario alevinos:

A totales promedio/granja = núm. promedio A/lote * núm. lotes A

6.2.7. Lotes de dedinos (solo en trucha) en tanques RAS, Biofloc, jaulas o estanque

núm. inicial D/lote = núm. final A/lote

núm. final D/lote = núm. inicial D/lote * % SD

$$\text{núm. lotes D} = \frac{\text{duración periodo D (días)} + \text{profilaxis (días)}}{\text{RP (días)}}$$

$$\text{núm. promedio D/lote} = \frac{\text{núm. inicial D/lote} + \text{núm. final D/lote}}{2}$$

Inventario dedinos:

D totales promedio/granja = núm. promedio D/lote * núm. lotes D

6.2.8. Lotes de juveniles (levante) en tanques RAS, Biofloc, jaulas o estanque

núm. inicial J/lote = núm. final A/lote

núm. final J/lote = núm. inicial J/lote * % SJ

$$\text{núm. lotes J} = \frac{\text{duración periodo J (días)} + \text{profilaxis (días)}}{\text{RP (días)}}$$

$$\text{núm. promedio J/lote} = \frac{\text{núm. inicial J/lote} + \text{núm. final J/lote}}{2}$$

Inventario juveniles:

J totales promedio/granja = núm. promedio J/lote * núm. lotes J

6.2.9. Lotes de ceba I (engorde I) en tanques RAS, Biofloc, jaulas o estanque

$$\text{núm. lotes Anim. CI} = \frac{\text{duración periodo CI (días) + profilaxis (días)}}{\text{RP (días)}}$$

$$\text{núm. inicial Anim. CI/lote} = \text{núm. final J/lote}$$

$$\text{núm. final Anim. CI/lote} = \text{núm. inicial Anim. CI/lote} * \% \text{SCI}$$

$$\text{núm. promedio Anim. CI/lote} = \frac{\text{núm. inicial Anim. CI/lote} + \text{núm. final Anim. CI/lote}}{2}$$

Inventario animales ceba I:

$$\text{Anim. CI totales promedio/granja} = \text{núm. promedio Anim. CI/lote} * \text{núm. lotes Anim. CI}$$

6.2.10. Lotes de ceba II (engorde II) en tanques RAS, Biofloc, jaulas o estanques

$$\text{núm. lotes Anim. CII} = \frac{\text{duración periodo CII (días) + profilaxis (días)}}{\text{RP (días)}}$$

$$\text{núm. inicial Anim. CII/lote} = \text{núm. final Anim. CI/lote}$$

$$\text{núm. final Anim. CII/lote} = \text{núm. inicial Anim. CII/lote} * \% \text{SCII}$$

$$\text{núm. promedio Anim. CII/lote} = \frac{\text{núm. inicial Anim. CII/lote} + \text{núm. final Anim. CII/lote}}{2}$$

Inventario animales ceba II:

$$\text{Anim. CII totales promedio/granja} = \text{núm. promedio Anim. CII/lote} * \text{núm. lotes Anim. CII}$$

6.2.11. Lotes de hembras futuras reproductoras para venta (HFRV)

$$\text{núm. lotes HFRV} = \frac{\text{duración periodo HFRV (días) + profilaxis (días)}}{\text{RP (días)}}$$

Nota: el número promedio de HFRV dependerá del momento en el cual se vendan, es decir, si se venden como A, J, CI o CII. Por esta razón no se indica cómo calcular el promedio.

$$\text{núm. promedio HFRV/lote} = \frac{\text{núm. inicial HFRV/lote} + \text{núm. final HFRV/lote}}{2}$$

Inventario futuras reproductoras para venta:

HFRV totales promedio/granja = núm. promedio HFRV/lote * núm. lotes HFRV

6.2.12. Lotes de futuros reproductores para venta (MFRV)

$$\text{núm. lotes MFRV} = \frac{\text{duración periodo MFRV (días)} + \text{profilaxis (días)}}{\text{RP (días)}}$$

$$\text{núm. promedio MFRV/lote} = \frac{\text{núm. inicial MFRV/lote} + \text{núm. final MFRV/lote}}{2}$$

Nota: el número promedio de MFRV dependerá del momento en el cual se vendan, es decir, si se venden como A, J, CI o CII. Por esta razón no se indica cómo calcular el promedio.

Inventario futuros reproductores para venta:

MFRV totales promedio/granja = núm. promedio MFRV/lote * núm. lotes MFRV

6.2.13. Lotes de hembras de reemplazo

Nota: se sugiere manejar uno o máximo dos lotes en el año.

$$\text{núm. lotes HR} = \frac{\text{duración periodo hasta inicio reproducción (días)} + \text{profilaxis (días)}}{\text{RP (días)}}$$

núm. inicial HR/lote = núm. final Anim. CII/lote – núm. inicial HR/RP/lote

núm. final Anim. HR/lote = núm. inicial HR/RP/lote * % SHR

$$\text{núm. promedio HR/lote} = \frac{\text{núm. inicial HR/lote} + \text{núm. final HR/lote}}{2}$$

Inventario hembras de reemplazo:

HR totales promedio/granja = núm. promedio HR/lote * núm. lotes HR

6.2.14. Lotes de machos de reemplazo

Nota: se sugiere manejar uno o máximo dos lotes en el año.

$$\text{núm. lotes MR} = \frac{\text{duración periodo hasta inicio reproducción (días)} + \text{profilaxis (días)}}{\text{RP (días)}}$$

núm. inicial MR/lote = núm. final Anim. CII/lote – núm. inicial MR/RP/lote

núm. final Anim. MR/lote = núm. inicial MR/RP/lote * % SMR

$$\text{núm. promedio MR/lote} = \frac{\text{núm. inicial MR/lote} + \text{núm. final MR/lote}}{2}$$

Inventario machos de reemplazo:

MR totales promedio/granja = núm. promedio MR/lote * núm. lotes MR

6.3. Determinación de la infraestructura para lotes de reproductores (hembras y machos), larvas, alevinos, levante, ceba, futuros reproductores hembras y machos para venta, hembras y machos de reemplazo

Recomendaciones:

- a. Si los m² totales requeridos para la totalidad de los animales (por fase de vida o por lote) arroja un valor inferior al área del estanque recomendada, se deberá asumir el área del estanque recomendada por fase de vida y verificar la modificación en la densidad real que se va a manejar.
- b. Cada lote debe ir en un estanque o canaleta, cada lote debe ocupar por lo menos un estanque y no deben mezclarse los lotes.

- c. El número de estanques debe ser, como mínimo, equivalente al número de lotes o múltiplos de este.
- d. Cuando se planifica es necesario procurar tener dos o tres tamaños de estanques en toda la granja para tener versatilidad en su uso cuando sea pertinente, así como para facilitar la programación.

6.3.1. Infraestructura para reproductores

Nota: se mezclan machos y hembras en cachamas, doradas, sabaletas, yamú, bocachico.

6.3.1.1. Infraestructura para reproductoras (hembras de tilapia, de trucha, etc. en periodo de descanso)

$$\text{Área total (m}^2\text{) para } \text{♀} \text{ reproducción en descanso/lote} = \frac{\text{núm. } \text{♀} \text{ reproducción en descanso/lote}}{\text{núm. } \text{♀} \text{ reproducción/m}^2 \text{ (densidad)}}$$

$$\text{núm. estanques para } \text{♀} \text{ reproducción en descanso/lote} = \frac{\text{Área total (m}^2\text{) para } \text{♀} \text{ reproducción en descanso/lote}}{\text{Área estanque (m}^2\text{) para } \text{♀} \text{ reproducción}}$$

$$\begin{aligned} \text{núm. total de estanques para } \text{♀} \text{ reproducción en descanso} = \\ \text{núm. estanques para } \text{♀} \text{ reproducción en descanso/lote} * \text{lotes de } \text{♀} \text{ reproducción en descanso} \end{aligned}$$

6.3.1.2. Infraestructura para machos de reproducción (para machos de tilapia o trucha en época de descanso)

$$\text{Área total (m}^2\text{) para } \text{♂} \text{ reproducción en descanso/lote} = \frac{\text{núm. } \text{♂} \text{ reproducción en descanso/lote}}{\text{núm. } \text{♂} \text{ reproducción/m}^2 \text{ (densidad)}}$$

$$\text{núm. estanques para } \text{♂} \text{ reproducción en descanso/lote} = \frac{\text{Área total (m}^2\text{) para } \text{♂} \text{ reproducción en descanso/lote}}{\text{Área estanque (m}^2\text{) para } \text{♂} \text{ reproducción}}$$

$$\begin{aligned} \text{núm. total estanques para } \text{♂} \text{ reproducción en descanso} = \\ \text{núm. estanques para } \text{♂} \text{ reproducción en descanso/lote} * \text{lotes } \text{♂} \text{ reproducción en descanso} \end{aligned}$$

6.3.1.3. Infraestructura para lotes de reproductores trabajando o animales en producción (para tilapias o reproductores de otras especies con ♀ y ♂ juntos)

Área total (m²) para ♀ y ♂ reproducción trabajando/lote =

$$\frac{\text{núm. ♀ y ♂ reproducción trabajando/lote}}{\text{núm. ♀ + ♂ reproducción/m}^2 \text{ (densidad)}}$$

núm. estanques de ♀ y ♂ reproducción trabajando/lote =

$$\frac{\text{Área total (m}^2\text{) para ♀ y ♂ reproducción trabajando/lote}}{\text{Área estanque (m}^2\text{) para ♀ y ♂ reproducción trabajando}}$$

núm. total estanques de ♀ y ♂ reproducción trabajando =

núm. estanques de ♀ y ♂ reproducción trabajando/lote * lotes ♀ y ♂ reproducción trabajando

Nota: para las producciones en que los reproductores en descanso están separados pero luego tienen periodos de trabajo y se juntan (tilapia) o según la especie y el manejo en la piscícola.

6.3.2. Incubadoras

núm. ovas a incubar/lote o núm. ovas/bandeja incubación o litros de ovas hidratadas/incubadora

Núm. bandejas de incubación o incubadoras/lote =

$$\frac{\text{núm. ovas a incubar/lote}}{\text{núm. ovas/bandeja de incubación o incubadoras (densidad)}}$$

núm. bandejas de incubación o incubadoras totales en granja =

núm. bandejas de incubación o incubadoras/lote * núm. lotes ovas

6.3.3. Infraestructura para producción de larvas

$$\text{Área total (m}^2\text{) para L/lote} = \frac{\text{núm. L/lote}}{\text{núm. L/m}^2 \text{ (densidad)}}$$

$$\text{núm. estanques para L/lote} = \frac{\text{Área total (m}^2\text{) para L/lote}}{\text{Área estanque (m}^2\text{) para L}}$$

$$\text{núm. total de estanques para L} = \text{núm. estanques para L/lote} * \text{núm. lotes L}$$

6.3.4. Infraestructura para producción de poslarvas

$$\text{Área total (m}^2\text{) para PL/lote} = \frac{\text{núm. PL/lote}}{\text{núm. PL/m}^2\text{ (densidad)}}$$

$$\text{núm. estanques para PL/lote} = \frac{\text{Área total (m}^2\text{) para PL/lote}}{\text{Área estanque (m}^2\text{) para PL}}$$

$$\text{núm. total de estanques para PL} = \text{núm. estanques para PL/lote} * \text{núm. lotes PL}$$

6.3.5. Infraestructura para producción de alevinos

$$\text{Área total (m}^2\text{) para A/lote} = \frac{\text{núm. A/lote}}{\text{núm. A/m}^2\text{ (densidad)}}$$

$$\text{núm. estanques para A/lote} = \frac{\text{Área total (m}^2\text{) para A/lote}}{\text{Área estanque (m}^2\text{) para A}}$$

$$\text{núm. total de estanques para A} = \text{núm. estanques para A/lote} * \text{núm. lotes A}$$

6.3.6. Infraestructura para producción de dedinos (solo en trucha)

$$\text{Área total (m}^2\text{) para D/lote} = \frac{\text{núm. D/lote}}{\text{núm. D/m}^2\text{ (densidad)}}$$

$$\text{núm. estanques para D/lote} = \frac{\text{Área total (m}^2\text{) para D/lote}}{\text{Área estanque (m}^2\text{) para D}}$$

$$\text{núm. total de estanques para D} = \text{núm. estanques para D/lote} * \text{núm. lotes D}$$

6.3.7. Infraestructura para producción de juveniles (estanques, tanques de biofloc o RAS)

$$\text{Área total (m}^2\text{) para J/lote} = \frac{\text{núm. J/lote}}{\text{núm. J/m}^2 \text{ (densidad)}}$$

$$\text{núm. estanques para J/lote} = \frac{\text{Área total (m}^2\text{) para J/lote}}{\text{Área estanque (m}^2\text{) para J}}$$

$$\text{núm. total de estanques para J} = \text{núm. estanques para J/lote} * \text{núm. lotes J}$$

6.3.8. Infraestructura para producción de animales de ceba I (estanques, jaulas, tanques de biofloc o RAS)

$$\text{Área total (m}^2\text{) para Anim. CI/lote} = \frac{\text{núm. Anim. CI/lote}}{\text{núm. Anim. CI/m}^2 \text{ (densidad)}}$$

$$\text{núm. estanques para Anim. CI/lote} = \frac{\text{Área total (m}^2\text{) para Anim. CI/lote}}{\text{Área estanque (m}^2\text{) para Anim. CI}}$$

$$\text{núm. total estanques para Anim. CI} = \text{núm. estanques para Anim. CI/lote} * \text{núm. lotes Anim. CI}$$

6.3.9. Infraestructura para producción de animales de ceba II (estanques, jaulas, tanques de biofloc o RAS)

$$\text{Área total (m}^2\text{) para Anim. CII/lote} = \frac{\text{núm. Anim. CII/lote}}{\text{núm. Anim. CII/m}^2 \text{ (densidad)}}$$

$$\text{núm. estanques para Anim. CII/lote} = \frac{\text{Área total (m}^2\text{) para Anim. CII/lote}}{\text{Área estanque (m}^2\text{) para Anim. CII}}$$

$$\text{núm. total estanques para Anim. CII} = \text{núm. estanques para Anim. CII/lote} * \text{núm. lotes Anim. CII}$$

6.3.10. Infraestructura para futuras reproductoras para venta

$$\text{Área total (m}^2\text{) para HFRV/lote} = \frac{\text{núm. HFRV/lote}}{\text{núm. HFRV/m}^2 \text{ (densidad)}}$$

$$\text{núm. estanques para HFRV/lote} = \frac{\text{Área total (m}^2\text{) para HFRV/lote}}{\text{Área estanque (m}^2\text{) para HFRV}}$$

$$\text{núm. total estanques para HFRV} = \text{núm. estanques para HFRV/lote} * \text{núm. lotes HFRV}$$

6.3.11. Infraestructura para futuros reproductores para venta

$$\text{Área total (m}^2\text{) para MFRV/lote} = \frac{\text{núm. MFRV/lote}}{\text{núm. MFRV/m}^2\text{ (densidad)}}$$

$$\text{núm. estanques para MFRV/lote} = \frac{\text{Área total (m}^2\text{) para MFRV/lote}}{\text{Área estanque (m}^2\text{) para MFRV}}$$

$$\text{núm. total estanques para MFRV} = \text{núm. estanques para MFRV/lote} * \text{núm. lotes MFRV}$$

6.3.12. Infraestructura para producción de hembras de reemplazo

$$\text{Área total (m}^2\text{) para HR/lote} = \frac{\text{núm. HR/lote}}{\text{núm. HR/m}^2\text{ (densidad)}}$$

$$\text{núm. estanques para HR/lote} = \frac{\text{Área total (m}^2\text{) para HR/lote}}{\text{Área estanque (m}^2\text{) para HR}}$$

$$\text{núm. total estanques para HR} = \text{núm. estanques para HR/lote} * \text{núm. lotes HR}$$

6.3.13. Infraestructura para producción de machos de reemplazo

$$\text{Área total (m}^2\text{) para MR/lote} = \frac{\text{núm. MR/ lote}}{\text{núm. MR/m}^2\text{ (densidad)}}$$

$$\text{núm. estanques para MR/lote} = \frac{\text{Área total (m}^2\text{) para MR/lote}}{\text{Área estanque (m}^2\text{) para MR}}$$

$$\text{núm. total estanques para MR} = \text{núm. estanques para MR/lote} * \text{núm. lotes MR}$$

6.4. Consumos

Los consumos se pueden obtener por día, por mes o por la duración de cada fase para calcular la conversión alimenticia.

6.4.1. Consumo promedio reproductores (sumatoria ♀ y ♂)

Alim. consumido reproductores (sumatoria ♀ y ♂)/día (g) =

Peso promedio reproductor (g) * % biomasa ofrecido como Alim./día * núm. reproductores

Alim. consumido reproductores (sumatoria ♀ y ♂)/mes (kg) =

Alim. consumido reproductores (sumatoria ♀ y ♂)/día (g) * 30,41 días/mes

1.000 g/kg

6.4.2. Consumo larvas

Nota: solo se usará si el productor les suministra algo de alimento inerte. Algunos productores no consideran el consumo para larvicultura por estar en periodo de reabsorción del vitelo y por tanto no suministran alimento. Otros productores, por el contrario, suministran un poco mientras se llega al 50% de los Anim. del lote con saco vitelino reabsorbido (a discreción).

Alim. consumido lote L/día (g) =

Peso promedio L (g) * % biomasa ofrecido como Alim./día * núm. promedio L/lote

Alim. total consumido L/mes (kg) =

Alim. consumido lote L/día (g) * 30,41 días/mes * núm. lotes L

1.000 g/kg

Alim. consumido lote L/periodo (kg) =

Alim. consumido lote L/día (g) * duración período L (días que consumen alimento)

6.4.3. Consumo poslarvas

Alim. consumido lote PL/día (g) =

Peso promedio PL (g) * % biomasa ofrecido como Alim./día * núm. promedio PL/lote

Alim. total consumido PL/mes (kg) =

$$\frac{\text{Alim. consumido lote PL/día (g)} * 30,41 \text{ días/mes} * \text{núm. lotes PL}}{1.000 \text{ g/kg}}$$

Alim. consumido lote PL/periodo (kg) =

Alim. consumido lote PL/día (kg) * duración periodo PL (días)

6.4.4. Consumo promedio alevinos

Alim. consumido lote A/día (g) =

Peso promedio A (g) * % biomasa ofrecido como Alim./día * núm. promedio A/lote

Alim. total consumido A/mes (kg) =

$$\frac{\text{Alim. consumido lote A/día (g)} * 30,41 \text{ días/mes} * \text{núm. lotes A}}{1.000 \text{ g/kg}}$$

Alim. consumido lote A/periodo (kg) = Alim. consumido lote A/día (kg) * duración periodo A (días)

6.4.5. Consumo promedio dedinos (solo para trucha)

Alim. consumido lote D/día (g) =

Peso promedio D (g) * % biomasa ofrecido como Alim./día * núm. promedio D/lote

Alim. total consumido D/mes (kg) =

$$\frac{\text{Alim. consumido lote D/día (g)} * 30,41 \text{ días/mes} * \text{núm. lotes D}}{1.000 \text{ g/kg}}$$

Alim. consumido lote D/periodo (kg) = Alim. consumido lote D/día (kg) * duración periodo D (días)

6.4.6. Consumo promedio juveniles

Alim. consumido lote J/día (g) =

Peso promedio J (g) * % biomasa ofrecido como Alim./día * núm. promedio J/lote

$$\text{Alim. total consumido D/mes (kg)} = \frac{\text{Alim. consumido lote D/día (g)} * 30,41 \text{ días/m}}{1.000 \text{ g/kg}}$$

Alim. consumido lote J/periodo (kg) = Alim. consumido lote J/día (kg) * duración periodo J (días)

6.4.7. Consumo promedio ceba I

Alim. consumido lote Anim. CI/día (g) =

Peso promedio Anim. CI (g) * % biomasa ofrecido como Alim./día * núm. promedio Anim. CI/lote

Alim. total consumido Anim. CI/mes (kg) =

$$\frac{\text{Alim. consumido lote Anim. CI/día (g)} * 30,41 \text{ días/mes} * \text{núm. lotes Anim. CI}}{1.000 \text{ g/kg}}$$

Alim. consumido lote Anim. CI/periodo (kg) =

Alim. consumido lote Anim. CI/día (kg) * duración periodo CI (días)

6.4.8. Consumo promedio ceba II

Alim. consumido lote Anim. CII/día (g) =

Peso promedio Anim. CII (g) * % biomasa ofrecido como Alim./día * núm. promedio Anim. CII/lote

Alim. total consumido Anim. CII/mes (kg) =

$$\frac{\text{Alim. consumido lote Anim. CII/día (g)} * 30,41 \text{ días/mes} * \text{núm. lotes Anim. CII}}{1.000 \text{ g/kg}}$$

Alim. consumido lote Anim. CII/periodo (kg) =

Alim. consumido lote Anim. CII/día (kg) * duración periodo CII (días)

6.4.9. Consumo promedio futuros reproductores para venta (sumatoria consumo ♀ y ♂ para venta)

Alim. consumido lote ♀ y ♂ FRV (sumatoria)/día (g) =

Peso prom. ♀ y ♂ FRV (g) * % biomasa ofrecido como Alim./día * núm. prom. ♀ y ♂ FRV /lote

Alim. total consumido ♀ y ♂ FRV/mes (kg) =

$$\frac{\text{Alim. consumido lote ♀ y ♂ FRV/día (g)} * 30,41 \text{ días/mes} * \text{núm. lotes ♀ y ♂ FRV}}{1.000 \text{ g/kg}}$$

Alim. consumido lote ♀ y ♂ FRV/periodo (kg) =

Alim. consumido lote ♀ y ♂ FRV /día (kg) * duración periodo ♀ y ♂ FRV (días)

6.4.10. Consumo promedio ♀ y ♂ de reemplazo (sumatoria)

Alim. consumido lote HR y MR (sumatoria)/día (g) =

Peso prom. HR y MR (g) * % biomasa ofrecido como Alim./día * núm. prom. HR y MR/lote

Alim. total consumido HR y MR/mes (kg) =

$$\frac{\text{Alim.consumido lote HR y MRI/día (g)} * 30,41 \text{ días/mes} * \text{núm.lotes Anim.CI}}{1.000 \text{ g/kg}}$$

Alim. consumido lote HR y MR (sumatoria)/período (kg) =

Alim. consumido lote HR y MR/día (kg) * duración período HR y MR (días)

6.5. Flujograma para los lotes en las diferentes fases de vida

Es recomendable realizar un flujograma de los lotes de las diferentes fases para verificar la ocupación de los espacios, para ello sugerimos la utilización de programas como Excel.

El flujograma se hace con base en la duración del periodo de ocupación o en la duración de la fase de vida y de la profilaxis. Debe graficarse cada fase de vida con su respectivo número de lotes. Se verifica que el flujograma es correcto cuando los animales que finalizan una fase de vida entran a la siguiente de manera secuencial, según el ritmo de producción, haciendo cíclico el proceso a través de todas las fases.

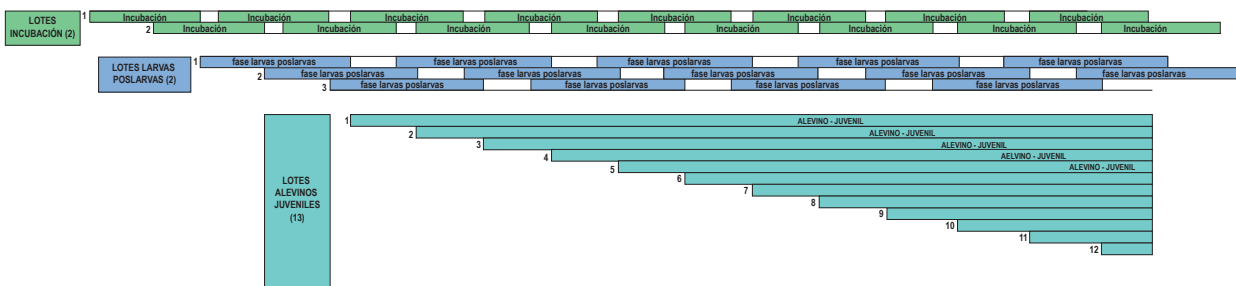


Figura 8. Ilustración de flujograma para diferentes fases de vida en una especie piscícola

Fuente: elaboración propia

En la Figura 8 se puede observar que cada fase de vida presenta un color diferente. De igual manera, puede observarse que la primera fase de vida, que corresponde a incubación (color verde), tiene dos lotes; la segunda fase de vida que corresponde a larvas-poslarvas (azul) tiene tres lotes; la tercera fase de vida que corresponde a alevinos-juveniles (verde azul) tiene 15 lotes y así sucesivamente. El número de lotes está dado en función de la duración del periodo y de la profilaxis.

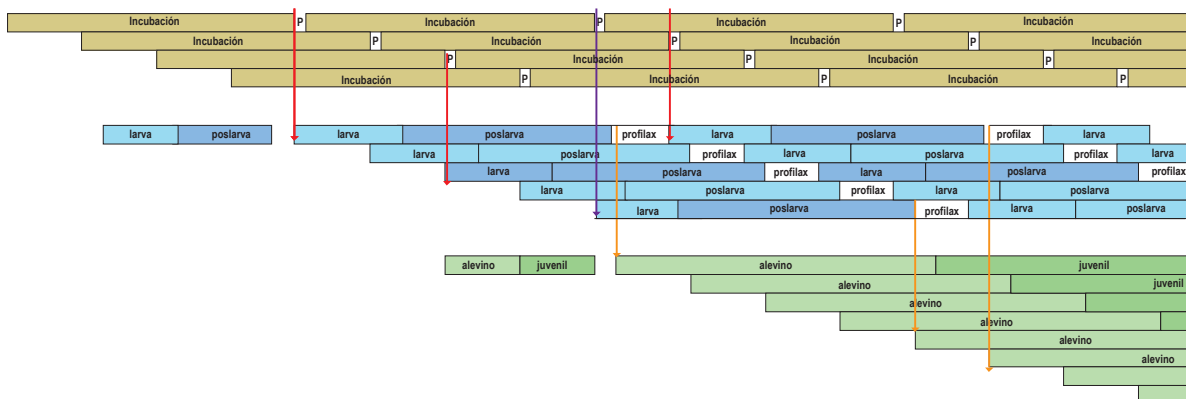


Figura 9. Ilustración de flujograma para diferentes fases de vida en una especie piscícola

Fuente: elaboración propia

En la Figura 9 se puede observar un flujograma que no corresponde a una especie particular. Se hace énfasis en las diferentes fases de vida como incubación (ocres), larva-poslarva (azul claro y azul fuerte respectivamente) y alevino-juvenil (verde claro y verde fuerte respectivamente). Las casillas en blanco corresponden a la profilaxis en las fases de vida de la figura.

Se observan cuatro lotes para la fase de incubación con una duración de 27 días y 1 día de profilaxis, razón por la cual se obtiene dicha cantidad. En la fase de larva-poslarva, la fase de larva dura 10 días, la fase

de poslarva tarda 20 días y se tienen cinco de profilaxis, con lo cual se obtienen cinco lotes. Se alcanzan a observar (detalle) ocho lotes de la fase de alevino juvenil.

Una vez finalizado el primer lote de incubación inicia la fase de larva-poslarva, y sucesivamente cada lote de incubación que termina empieza en la siguiente fase de larva-poslarva, tal como ilustran las flechas en rojo en tres eventos.

Observar que cuando finaliza el segundo periodo para el primer lote de incubación (flecha violeta), ingresará a la infraestructura (tanques o estanques) dispuesta para el quinto lote de la fase de larva-poslarva. Esto se explica porque cada fase de vida tiene diferente duración, por lo tanto, cuando el primer lote de incubación ha finalizado su segundo ciclo, aún no está disponible o desocupada la infraestructura del primer lote de larva-poslarva, debido a que su duración es mayor (flecha violeta) y por ende se tiene un mayor número de lotes para la fase de larva-poslarva.

De igual manera, cuando finaliza el primer lote de larva-poslarva (flecha naranja), ingresa a la infraestructura del primer lote de alevino-juvenil. Puede notarse que el número de lotes de alevino-juvenil es superior al número de lotes de larva-poslarva. Observar que el último lote de larva-poslarva (quinto) entra al quinto lote de alevino-juvenil (segunda flecha naranja) y el segundo ciclo del primer lote de larva-poslarva pasa al sexto lote de alevino juvenil (tercera flecha naranja).

Así mismo, las profilaxis no tienen la misma duración en todas las fases de vida. Diferentes factores inciden en la duración de este periodo, tales como el área del tanque y el tiempo de cosecha, y debe ser tal que al sumar el periodo de ocupación o de duración y la profilaxis y dividir por

el ritmo de producción se obtenga un número de lotes entero como variable discreta, es decir, sin aproximar.

6.6. Aplicación práctica de programación: ejercicio

Objetivo de producción (especie tilapia):

Ritmo de producción: semanal (semanas/año = 52)

- Venta de 90.000 ovas embrionadas/semana
- Venta de 30.000 juveniles/semana
- 3 toneladas de pescado/semana. Presentación: 3 animales/kg. Rendimiento en canal de 77%
- Venta de 5.000 animales de pesca deportiva de 350 g peso vivo/semana
- 4 toneladas de filete con piel/semana. Cada filete de 180 g, 2 filetes/animal. Rendimiento en canal del 45%

Parámetros reproductivos a tener en cuenta para el desarrollo del ejercicio de aplicación

Porcentaje hembras efectivas (HE): 75%

Porcentaje fertilidad (FE), sobrevivencia embrionaria (SE) y eclosión (E): 70% en cada fase

Núm. de huevos/desove/hembra efectiva: 700

Intensidad de selección (IS): 45%

Número desoves/año: 7

Proporción hembras:macho: 3:1

Vida útil reproductores machos y hembras: 2 años

Tabla 22. Parámetros productivos a tener en cuenta para el desarrollo del ejercicio de aplicación (se pueden agrupar fases de vida)

Fase de vida	Duración periodo (días)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Consumo alimento (% biomasa/día)	Sobrevivencia (%)	Densidad (huevos o ejemplares/m ²)
Ova (Incubación)	6	----	----	----		10.000
Larva	5	0,03	0,15	----	75 (SL)	2500
Poslarva	22	0,2	1	5	75 (SPL)	2000
Alevino	60	1	45	4	75 (SA)	800
Juvenil	42	45	180	3,5	80 (SJ)	500
Ceba I	63	180	430	2	90 (SCI)	100
Ceba II	63	430	800	1,5	90 (SCII)	70
Reemplazo a reproducción	30	800	850	1,2	95 (SIR)	40
Reproductores (♀,♂)	----	Peso promedio	900	1	95 (SR)	5

Fuente: elaboración propia

Nota: para desarrollar este ejercicio de aplicación se tomaron en cuenta los valores suministrados al inicio del ejercicio y los que se presentan en la Tabla 22.

6.6.1. Reproductoras requeridas para los diferentes objetivos de producción

Nota: los valores resultantes se aproximan al número inmediatamente superior.

6.6.1.1. Reproductoras requeridas para producción y venta de 90.000 ovas embrionadas/semana

Ovas embrionadas para venta/CR =

$$\frac{90.000 \text{ OE para venta/sem} * 52 \text{ sem/año}}{7 \text{ CR o desoves/ año}} = 668.571 \text{ OE venta/CR}$$

Ovas necesarias para venta de 90.000 OE/sem/CR =

$$\frac{668.571 \text{ OE para venta/CR}}{70\% \text{ FE} * 70\% \text{ SE}} = 1.364.431$$

Reproductoras requeridas para venta de 90.000 OE/sem =

$$\frac{1.364.431 \text{ ovas necesarias para venta de 90.000 OE/sem/CR}}{75\% \text{ HE} * 700 \text{ huevos por HE/CR}}$$

Reproductoras requeridas para venta de 90.000 OE/sem = 2.599

6.6.1.2. Reproductoras requeridas para producción y venta de 30.000 juveniles/semana

Juveniles para venta/CR =

$$\frac{30.000 \text{ J para venta/sem} * 52 \text{ sem/año}}{7 \text{ CR o desoves/ año}} = 222.857 \text{ J para venta/CR}$$

Ovas necesarias para venta de 30.000 J/sem/CR =

$$\frac{222.857 \text{ J para venta/CR}}{70\% \text{ FE} * 70\% \text{ SE} * 70\% \text{ E} * 75\% \text{ SL} * 75\% \text{ SPL} * 75\% \text{ SA} * 80\% \text{ SJ}}$$

También podría presentarse así:

Ovas necesarias para venta de 30.000 J/sem/CR =

$$\frac{222.857 \text{ J para venta/CR}}{70\% ^3 (\% \text{ FE}, \% \text{ SE}, \% \text{ E}) * 75\% ^3 (\% \text{ SL}, \% \text{ SPL}, \% \text{ SA}) * 80\% \text{ SJ}}$$

Ovas necesarias para venta de 30.000 J/sem/CR =

1.925.123 ovas necesarias para venta de J/CR

Reproductoras requeridas para venta de 30.000 J/sem =

$$\frac{1.925.123 \text{ ovas necesarias para venta de 30.000 J/sem/CR}}{75\% \text{ HE} * 700 \text{ huevos por HE/CR}}$$

Reproductoras requeridas para venta de 30.000 J/sem = 3.667

6.6.1.3. Reproductoras requeridas para producción y venta de 3 toneladas de pescado/semana

Presentación 3 animales/kg

Rendimiento en canal de 77%

Se debe calcular cuántos animales son 3 toneladas/sem en dicha presentación.

1 kg = 3 Anim.; 3 t = 3000 kg; es decir, 9.000 Anim.

Número de animales para venta de 3 toneladas (9.000 animales) y reproductoras requeridas:

Nota: se aproximarán todos los resultados al número inmediatamente superior.

Anim. para venta de 3 t/sem en presentación de 3 Anim./kg/CR =

$$\frac{9.000 \text{ Anim para venta de 3 t/sem} * 52 \text{ sem/año}}{7 \text{ CR o desoves/ año}}$$

Anim. para venta de 3 t/sem en presentación de 3 Anim./kg/CR= 66.857,14

Ovas necesarias para venta de 3 t/sem en presentación de 3 Anim./kg/CR =

$$\frac{66.857,14 \text{ Anim. para venta de 3 t/sem/CR}}{70\% \wedge 3 (\% \text{ FE, \% SE, \% E}) * 75\% \wedge 3 (\% \text{ SL, \% SPL, \% SA}) * 80\% \text{ SJ} * 90\% \text{ SCI}}$$

Ovas necesarias para venta de 3 t/sem en presentación de 3 Anim./kg/CR = 641.707,90

Reproductoras requeridas para venta de 3 t/sem en presentación de 3 Anim./kg =

$$\frac{641.707,90 \text{ ovas necesarias para venta de 3 t/sem/CR}}{75\% \text{ HE} * 700 \text{ huevos por HE/CR}}$$

Reproductoras requeridas para venta de 3 t/sem en presentación de 3 Anim./kg = 1.222,3

6.6.1.4. Reproductoras requeridas para producción y venta de 5.000 animales de pesca deportiva de 350 g peso vivo/semana

Nota: se aproximarán todos los resultados al número inmediatamente superior.

La ceiba de estos animales no llegará hasta los 430 g dado que se venderán antes. Por tanto, no estarán 63 días en la granja, que es el tiempo total de la ceiba I, por lo que se espera que el porcentaje de mortalidad será diferente al 10%. Se estima proporcionalmente:

Ganancia de peso en 63 días = 250 g y porcentaje de mortalidad 10%

Para una ganancia de peso de 170 g (180 g a 350 g), tardará 42,84 días y el porcentaje de mortalidad será de 6,8%, es decir, una sobrevivencia de 93,2%.

Anim. de pesca deportiva de 350 g para venta/CR =

$$\frac{5.000 \text{ Anim.de pesca deportiva de 350 g para venta/sem} * 52 \text{ sem/año}}{7 \text{ CR o desoves/ año}}$$

Anim. de pesca deportiva de 350 g para venta/CR = 37.142,86

Como los animales solo llegan a 350 g de peso al momento de la venta, se debe obtener el % SCI, el cual debe ser proporcional al tiempo requerido para alcanzar dicho peso:

En CI para pasar de → 180 g a 430 g (250 g peso ganado) → tarda 63 días
Por lo tanto, para pasar de → 180 g a 350 g (170 g peso ganado) → ¿Cuánto tardará?
Para ganar 170 g tardará = 42,84 días

Por lo tanto, el porcentaje de sobrevivencia proporcional será mayor:

Si en 63 días el % mortalidad en CI es → 10% (% SCI)
en 42,84 días → ¿Cuál será el % mortalidad proporcional en CI?

% mortalidad proporcional en CI a los 42,84 días = 6,8%

% SCI proporcional a los 42,84 días =

100% - 6.8% mortalidad proporcional en CI = 93,2% SCI

37.142,86 Anim. de pesca deportiva de 350 g para venta/CR

70% ^3 (% FE,% SE,% E) * 75% ^3 (% SL,% SPL,% SA) * 80% SJ * 93,2% SCI

Ovas necesarias para venta de 5.000 Anim. de pesca deportiva de 350 g/sem = 344.264

Reproductoras requeridas para venta de 5.000 Anim. de pesca deportiva de 350 g/sem =

344.264 ovas necesarias para venta de 5.000 Anim. de pesca deportiva de 350 g/sem/CR

75% HE * 700 huevos por HE/CR

Reproductoras requeridas para venta de 5.000 Anim. de pesca deportiva de 350 g/sem = 656

6.6.1.5. Reproductoras requeridas para producción y venta de 4 toneladas de filete/semana

Nota: se aproximarán todos los resultados al número inmediatamente superior.

Cada filete es de 180 g, 2 filetes/animal. Rendimiento en canal del 45% y reproductoras requeridas. Se debe calcular cuántos animales serán 4 toneladas/semana en dicha presentación.

1 Anim. = 2 filetes = 360 g se requieren 4.000 kg = 4.000 kg/0.36 kg = 11.112 Anim.

Anim. para venta de 4 t de filete/sem/CR =

11.112 Anim. para venta de 4 t de filete/sem * 52 sem/año

7 CR o desoves/año

Anim. para venta de 4 t de filete/sem/CR = 82.546,29

Ovas necesarias para venta de 4 t de filete/sem =

82.546,29 Anim. para venta de 4 t de filete/sem/CR

70% ^3 (% FE,% SE,% E) * 75% ^3 (% SL,% SPL,% SA) * 80% SJ * 90% ^2 (% SCI,SCII)

Ovas necesarias para venta de 4 t de filete/sem = 880.328

Reproductoras requeridas para venta de 4 t de filete/sem/CR =

$$\frac{880.328 \text{ ovas necesarias para venta de 4 t filete/sem/CR}}{75\% \text{ HE} * 700 \text{ huevos por HE/CR}}$$

Reproductoras requeridas para venta de 4 t de filete/sem/CR = 1.677

6.6.1.6. Reproductoras requeridas para hembras de reemplazo

Nota: las granjas piscícolas suelen seleccionar sus futuras reproductoras de uno o dos de los desoves de un lote de hembras de reproducción, esto se realiza para manejar solo uno o dos lotes de hembras de reemplazo y facilitar su manejo. Adicionalmente en las granjas suelen producirse los animales de reemplazo (hembras o machos) para evitar incurrir en los costos de su adquisición, esta producción se realiza de acuerdo a la relación hembras:machos.

Para el ejemplo solo se tomarán en cuenta 2 de los 7 desoves/hembra/año, es decir, se tendrán dos lotes de hembras de reemplazo.

Sumatoria de núm. de reproductoras requeridas para cumplir con los objetivos de producción (subtotal):

2.599 reproductoras para venta 90.000 OE/sem

+ 3.667 reproductoras para venta de 30.000 J/sem

+ 1.222 reproductoras para venta de 3 t/sem en presentación de 3 Anim./kg

+ 656 reproductoras para venta de 5.000 Anim. de pesca deportiva de 350 g/sem

+ 1.677 para venta de 4 t filete/sem

9.821 reproductoras requeridas para cumplir los objetivos de producción (subtotal)

HR/año = 9.821 subtotal reproductoras * 50% reposición/año (vida útil 2 años) = 4.911 HR/año

Ovas necesarias para producción de HR/CR =

$$\frac{4.911/\text{año} * 2 \text{ (50\% de los huevos darán origen a machos)}}{2 \text{ CR}/\text{♀}/\text{año} * 70\% \wedge 3 \text{ (\% FE, \% SE, \% E)} * 75\% \wedge 3 \text{ (\% SL, \% SPL, \% SA)}}$$

Ovas necesarias para producción de HR/CR =

$$\frac{33.948,45}{80\% \text{ SJ} * 90\% \wedge 2 \text{ (\% SCI, SCII)} * 95\% \text{ SHR}} = 55.130,68$$

Reproductoras requeridas para producción de HR/año =

$$\frac{55.130,68 \text{ ovas necesarias para producción de HR/CR}}{45\% \text{ IS} * 75\% \text{ HE} * 700 \text{ huevos por HE/CR}} = 233,35$$

Reproductoras requeridas para producción de HR/año = 234

6.6.1.7. Reproductoras requeridas para machos de reemplazo

Subtotal reproductoras = 9.821 + 234 = 10.055 reproductoras

núm. reproductores en granja (subtotal), según la proporción hembras:machos de 3:1

núm. reproductores en granja (subtotal) = 3.352 subtotal reproductores

MR/año = 3.352 subtotal reproductores * 50% reposición/año (vida útil 2 años) = 1.676 MR/año

Para el ejemplo solo se tomarán en cuenta 2 de los 7 desoves que tiene una hembra por año, es decir, se tendrán dos lotes de machos de reemplazo.

Ovas necesarias para producción de MR/CR =

$$\frac{1.676 \text{ MR}/\text{año} * 2 \text{ (50\% de los huevos darán origen a hembras)}}{2 \text{ CR}/\text{♀}/\text{año} * 70\% \wedge 3 \text{ (\% FE, \% SE, \% E)} * 75\% \wedge 3 \text{ (\% SL, \% SPL, \% SA)}}$$

Ovas necesarias para producción de MR/CR =

$$\frac{11.582,33}{80\% \text{ SJ} * 90\% \wedge 2 \text{ (\% SCI, SCII)} * 95\% \text{ SMR}} = 18.814,71$$

Reproductoras requeridas para producción de MR/año =

$$\frac{18.814,71 \text{ ovas necesarias para producción de MR/CR}}{45\% \text{ IS} * 75\% \text{ HE} * 700 \text{ huevos por HE/CR}} = 79,63$$

Reproductoras requeridas para producción de MR/año = 80

Total reproductoras = 9.821 + 234 + 80 = 10.135 reproductoras

Total reproductores en granja = 3.379

6.6.2. Distribución de la población en lotes e inventario (stock) de animales en granja

6.6.2.1. Lotes de hembras reproductoras de tilapias

$$\text{Intervalo entre desoves (IED) (días)} = \frac{365 \text{ días/año}}{7 \text{ desoves/año}} = 52,14 \text{ días}$$

$$\text{Lotes reproductoras tilapia} = \frac{52,14 \text{ días IED}}{7 \text{ días}} = 7,45 \text{ lotes}$$

***NO AJUSTAR A NÚMERO ENTERO**

$$\text{Núm. reproductoras tilapia/lote} = \frac{10.135 \text{ reproductoras totales de tilapia en granja}}{7,45 \text{ lotes de reproductoras de tilapia}}$$

$$\text{Núm. reproductoras tilapia/lote} = 1.360 \text{ reproductoras tilapia/lote}$$

6.6.2.2. Lotes de machos reproductores de tilapias

El número de lotes es el mismo que el de las reproductoras, independientemente que los machos presenten semen a las pocas semanas luego de espermiar. Si se usan los mismos reproductores cuando se hayan recuperado de su última espermiación, se incrementará aceleradamente la consanguinidad en la granja.

$$\text{núm. reproductores machos/lote} = \frac{3.379 \text{ reproductores machos totales en granja}}{7,45 \text{ lotes de reproductores machos}} = 454$$

6.6.2.3. Lotes de ovas (incubadoras) e inventario ovas

$$\text{núm. lotes ovas} = \frac{6 \text{ días ocupación} + 1 \text{ día de profilaxis}}{7 \text{ días}} = 1 \text{ lote de ovas}$$

$$\text{núm. inicial huevos/lote} = 1.360 \text{ reproductoras hembras/lote} * 75\% * 700 \text{ huevos/desove/HE}$$

$$\text{núm. inicial huevos/lote} = 714.000 \text{ huevos iniciales/lote}$$

$$\text{núm. final ovas/lote} = 714.000 \text{ huevos iniciales/lote} * 70\% F * 70\% SE = 349.860 \text{ OE/lote}$$

$$349.860 \text{ OE/lote} - 90.000 \text{ OE para venta/sem} = 259.860 \text{ OE luego de venta}$$

$$259.860 \text{ OE luego de venta} * 70\% E = 181.902 \text{ ovas finales/lote}$$

$$\text{núm. promedio ovas/lote} =$$

$$\frac{714.000 \text{ huevos iniciales/lote} + 181.902 \text{ ovas finales/lote}}{2} = 447.951$$

$$\text{Ovas totales promedio/granja} = 447.951 \text{ ovas promedio/lote} * 1 \text{ lote ovas}$$

$$\text{Ovas totales promedio/granja} = 447.951 \text{ ovas totales promedio en granja}$$

6.6.2.4. Lotes de larva y poslarva e inventario larva-poslarva

Nota: para este ejercicio se agruparon las dos fases de vida.

$$\text{núm. lotes L - PL} = \frac{5 \text{ días ocupación L} + 22 \text{ días ocupación PL} + 1 \text{ día de profilaxis}}{7 \text{ días}}$$

$$\text{núm. lotes L - PL} = 4 \text{ lotes L - PL}$$

Para el cálculo de los inventarios es necesario considerar que el número final/lote de una fase es el inicial de la siguiente (aplica para todas las fases siguientes).

$$\text{núm. inicial L/lote (núm. final ovas/lote)} = 181.902 \text{ L iniciales/lote}$$

$$\text{núm. final PL/lote} = 181.902 \text{ L iniciales/lote} * 75\% SL * 75\% SPL = 102.320 \text{ PL finales/lote}$$

$$\text{núm. promedio L - PL/lote} = \frac{181.902 \text{ L iniciales/lote} + 102.320 \text{ PL finales/lote}}{2} = 142.111$$

$$\text{Inventario de L - PL} = 142.111 \text{ L - PL promedio/lote} * 4 \text{ lotes L - PL}$$

$$\text{Inventario de L - PL} = 568.444 \text{ L - PL totales promedio en granja}$$

Es de anotar que las larvas-poslarvas que darán origen a ♀ y ♂ de reemplazo de tilapia deben estar separadas de los lotes comerciales. Esto se debe a que las poslarvas para reemplazo o reposición no deben recibir alimento con hormona de reversión.

6.6.2.5. Lotes de alevinos y juveniles e inventario alevino-juvenil

Nota: para este ejercicio se agruparon estas dos fases de vida.

núm. lotes A - J =

$$\frac{60 \text{ días ocupación A} + 42 \text{ días ocupación J} + 3 \text{ días de profilaxis}}{7 \text{ días}} = 15 \text{ lotes}$$

núm. inicial A/lote (núm. final PL/lote) = 102.320 A iniciales/lote

núm. final J/lote = 102.320 A iniciales/lote * 75% SA * 80% SJ =

61.392 J finales/lote antes de venta - 30.000 J para venta/sem =

núm. final J/lote = 31.392 J finales luego de venta

núm. promedio A - J/lote =

$$\frac{102.320 \text{ A iniciales/lote} + 61.392 \text{ J finales antes de venta**/lote}}{2} = 81.856$$

**Se debe considerar el núm. final de J antes de venta dado que permanecen toda la fase de J en granja y deberán considerarse para infraestructura y para consumo de alimento.

Inventario de A - J = 81.856 A - J * 15 lotes A - J = 1.227.840 A - J totales promedio en granja

Nota: es importante tener en cuenta que, tanto para el inventario como para el cálculo de infraestructura y de alimento, considerar un número promedio de 66.856 no es realmente correcto. Esto se debe a que los 30.000 juveniles que se venden al final de la fase de juveniles ocupan espacio y consumen alimento hasta el final de la misma. Es por ello que el promedio y el inventario deberían ser diferentes.

6.6.2.6. Lotes de ceba I e inventario ceba I

$$\text{núm. lotes Anim. CI} = \frac{63 \text{ días ocupación} + 7 \text{ días de profilaxis}}{7 \text{ días}}$$

$$\text{núm. lotes Anim. CI} = 10 \text{ lotes Anim. CI}$$

$$\text{núm. inicial Anim. CI/lote (núm. final J luego de venta/lote)} = 31.392 \text{ J/lote}$$

$$\text{núm. final Anim. CI/lote} = 31.392 \text{ Anim. CI iniciales/lote} * 93,2\% \text{ SCI (hasta 350 g)} = 29.257$$

$$29.257 \text{ Anim. CI antes de venta} - 5.000 \text{ Anim. de pesca deportiva para venta/sem} = 24.257$$

$$24.257 \text{ Anim. CI después de venta} * 96,8\% \text{ SCI (de 350 g a 430 g)} = 23.481 \text{ subtotal Anim. CI}$$

$$\text{núm. final Anim. CI/lote} =$$

$$23.481 \text{ subtotal Anim. CI} - 9.000 \text{ Anim. CI (3 t/sem presentación 3 Anim./kg)} \text{ núm. final Anim. CI/lote} =$$

$$\text{núm Anim. CI finales/lote} = 14.481 \text{ Anim. CI finales/lote}$$

$$\text{núm. promedio Anim. CI} =$$

$$\frac{31.392 \text{ Anim. CI iniciales/lote} + 23.481 \text{ Anim. finales CI antes de venta**/lote}}{2}$$

$$\text{núm. promedio Anim. CI} = 27.436,5$$

**Se debe considerar el núm. final de Anim. CI antes de venta dado que permanecen toda la fase de CI y deberán considerarse para infraestructura y para consumo de alimento.

$$\text{Inventario Anim. CI} = 27.437 \text{ Anim. CI} * 10 \text{ lotes Anim. CI}$$

$$\text{Inventario Anim. CI} = 274.370 \text{ Anim. CI totales promedio en granja}$$

6.6.2.7. Lotes de ceba II e inventario ceba II

$$\text{núm. lotes Anim. CII} = \frac{63 \text{ días ocupación CII} + 7 \text{ días de profilaxis}}{7 \text{ días}} = 10$$

El número final/lote de una fase es el inicial de la siguiente.

$$\text{núm. inicial Anim. CII/lote (núm. final Anim. CI/lote)} = 14.481 \text{ Anim. CII/lote}$$

$$\text{núm. final Anim. CII/lote} = 14.481 \text{ Anim. CII iniciales/lote} * 90\% \text{ SCII} = 13.496 \text{ Anim. CII}$$

$$13.496 \text{ Anim. CII antes de venta/lote} - 11.112 \text{ Anim. para venta de 4 t de filete/sem} =$$

$$2.384 \text{ Anim. CII/lote}$$

$$\text{núm. promedio CII/lote} =$$

$$\frac{14.481 \text{ Anim. CII iniciales/lote} + 13.496 \text{ Anim. CII finales antes de venta**/lote}}{2} = 13.989$$

**Se debe considerar el núm. final de Anim. CII antes de venta dado que permanecen toda la fase de CII y deberán considerarse para infraestructura y para consumo de alimento.

Inventario Anim. CII = 13.989 Anim. CII * 10 lotes Anim. CII =
139.890 Anim. CII totales promedio en granja

6.6.2.8. Lotes de hembras de reemplazo e inventario hembras de reemplazo

$$\text{núm. lotes HR} = \frac{30 \text{ días hasta inicio de reproducción} + 5 \text{ días profilaxis}}{7 \text{ días}} = 5 \text{ lotes HR}$$

Del número de Anim. finales de reemplazo ♀ y ♂/lote el 50% serán hembras de reemplazo, por lo tanto el núm. final de hembras de reemplazo será:

Cada año se debe reemplazar el 50% de las reproductoras de acuerdo a la vida útil de dos años, es decir, 5.068 hembras de reproducción/año, 97,46 HR/sem, debiendo iniciar 103 HR/sem (95% SHR).

Por lo tanto 2.384 Anim. finales CII/lote – 103 HR/sem/lote = se deben descartar/sem 2.281 Anim. CII adicionales para venta.

núm. inicial HR/sem = 103 HR/sem

núm. final HR/sem = 103 HR/sem * 95% SHR = 98 HR/sem

$$\text{núm. promedio HR/sem} = \frac{103 \text{ HR inicial/sem} + 98 \text{ HR finales/sem}}{2} = 100,5$$

Inventario HR en granja = 100,5 HR/sem * 5 lotes HR = 502,5 HR totales promedio en granja

6.6.2.9. Lotes de machos de reemplazo e inventario machos de reemplazo

$$\text{núm. lotes MR} = \frac{30 \text{ días hasta inicio de reproducción} + 5 \text{ días profilaxis}}{7 \text{ días}} = 5 \text{ lotes MR}$$

Del número de Anim. finales de reemplazo ♀ y ♂/lote, el 50% serán machos de reemplazo por lo tanto, el núm. final de machos de reemplazo será:

Cada año se debe reemplazar el 50% de los reproductores de acuerdo a la vida útil de dos años, es decir, 1.690 machos de reproducción/año, 32,3 MR/sem, debiendo iniciar 35 MR/sem (95% SMR).

núm. inicial MHR/sem = 35 MR/sem

núm. final MR/lsem = 35 MR/sem * 95% SMR = 33 MR/sem

núm. promedio MR/sem = $\frac{35 \text{ MR inicial/sem} + 33 \text{ MR finales/sem}}{2} = 34$

Inventario MR en granja = 34 MR/sem * 5 lotes MR = 170 MR totales promedio en granja

6.6.3. Infraestructura para las diferentes fases de vida

6.6.3.1. Infraestructura para reproductoras (hembras de tilapia en periodo de descanso)

En las granjas comerciales no siempre se tienen lotes de reproductoras en descanso. Cuando un lote empieza a disminuir su producción se hace la reposición con los animales de reemplazo que ya están listos para iniciar la reproducción. Sin embargo, en aras de hacer el ejercicio, se simulará un lote en descanso. Cada lote de reproductoras es de 1.360 ♀.

Área total (m²) para ♀ de reproducción descanso/lote =

$$\frac{1.360 \text{ ♀ reproducción en descanso/lote}}{5 \text{ ♀ reproducción/m}^2 \text{ (densidad)}} = 272 \text{ m}^2$$

1 estanque para el lote de ♀ reproducción en descanso de 272 m², cuyas medidas podrían ser 39 m largo por 7 m ancho ≈ 273 m² (por la dificultad de construir un estanque con medidas de largo y de ancho decimales y con una relación largo:ancho de 5,57:1).

Densidad real para lote de ♀ de reproducción descanso/lote =

$$\frac{1.360 \text{ ♀ de reproducción en descanso/lote}}{273 \text{ m}^2 \text{ para ♀ reproducción en descanso}} = 4,98 \text{ ♀}$$

Por tanto, debe determinarse que la densidad real para reproductoras ♀ en descanso será diferente pues el estanque será de mayor área, es decir, 273 m².

La densidad inicial planteada fue de 5 reproductoras ♀ en descanso/m² y finalmente quedó en 4,98 ♀ de reproducción en descanso/m².

Nota: para tener estanques versátiles, es decir de igual tamaño al momento de una emergencia, podría pensarse que los 270 m² requeridos para el estanque de ♀ reproducción en descanso podrían ser 3 estanques de 90 m² cada uno. Igualmente, si bien se tendrían estanques versátiles, debe considerarse que en 2 estanques habría mayor gasto de materiales de acometida, conducción y desagüe.

6.6.3.2. Infraestructura para machos de reproducción (para machos de tilapia en época de descanso)

En las granjas comerciales no siempre se tienen lotes de reproductores en descanso. Cuando un lote empieza a disminuir su producción se hace la reposición con los animales de reemplazo que ya están listos para iniciar reproducción. Sin embargo, en aras de hacer el ejercicio, se simulará un lote en descanso. Cada lote de reproductores es de 454 ♂

Área total (m²) para ♂ de reproducción descanso/lote =

$$\frac{454 \text{ ♂ reproducción en descanso/lote}}{5 \text{ ♂ reproducción/m}^2 \text{ (densidad)}} = 90,8 \text{ m}^2$$

1 estanque para el lote de ♂ reproducción en descanso de 90 m², cuyas medidas podrían ser 23 m largo por 4 m ancho ≈ 92 m² (por la dificultad de construir un estanque con medidas de largo y de ancho decimales y con una relación largo:ancho de 5,75:1).

Por tanto, debe determinarse que la densidad real para reproductores ♂ en descanso será diferente pues el estanque será de mayor área, es decir, 92 m².

Densidad real para lote de ♂ de reproducción descanso/lote =

$$\frac{454 \text{ ♂ de reproducción en descanso/lote}}{92 \text{ m}^2 \text{ para ♂ reproducción en descanso}} = 4,93$$

La densidad inicial planteada fue de 5 reproductores ♂ en descanso/m² y finalmente quedó en 4,93 reproductores ♀ en descanso/m².

Nota: observar que el estanque de los reproductores ♂ en descanso es de la misma área de los de las reproductoras ♀ en descanso, lo que en determinado momento podría ser de utilidad en una granja.

6.6.3.3. Infraestructura para lotes de reproductoras y reproductores trabajando (apareamiento)

Área total (m²) para ♀ y ♂ reproducción trabajando/lote =

$$\frac{1.814 \text{ ♀ y ♂ reproducción trabajando/lote}}{5 \text{ ♀ y ♂ reproducción/m}^2 \text{ (densidad)}} = 362,8 \text{ m}^2$$

1 estanque para ♀ y ♂ trabajando (apareamiento)/lote de 363 m²; sin embargo, se plantea un tanque de 360 m² cuyas medidas podrían ser 72 m largo por 5 m ancho (por la dificultad de construir un estanque con medidas de largo y de ancho decimales y con una relación largo:ancho de 5:1).

Debe determinarse que la densidad real para reproductores ♀ y ♂ trabajando/lote será diferente, dado que el estanque será de menor área, es decir, 360 m².

Densidad real para lote de ♀ y ♂ reproducción trabajando/lote =

$$\frac{1.814 \text{ ♀ y ♂ reproducción trabajando/lote}}{360 \text{ m}^2 \text{ para ♂ reproducción en descanso}}$$

Densidad real para lote de ♀ y ♂ reproducción trabajando/lote =

$$5,04 \text{ ♀ y ♂ reproducción trabajando/m}^2$$

La densidad inicial planteada fue de 5 reproductores ♀ y ♂ trabajando/m² y finalmente quedó en 5,04 reproductores ♀ y ♂ trabajando /m².

Nota: observar que el estanque del lote de reproductores ♀ y ♂ trabajando es de la misma área (360 m²) que la suma del área de las reproductoras ♀ en descanso y del área de los reproductores ♂ en descanso, por lo que podría pensarse que cada lote de reproductores ♀ y ♂ trabajando podría dividirse en 4 estanques de 90 m² cada uno.

Total estanques para ♀ y ♂/lote = 4 estanques/lote:

Total de estanques para ♀ y ♂ trabajando = 4 estanques para ♀ y ♂ trabajando * 8 lotes

Total de estanques para ♀ y ♂ trabajando = 32 estanques en total para ♀ y ♂ trabajando

Es de anotar que si bien son 7,45 lotes de reproductoras ♀ y 7,45 lotes de reproductores ♂, solo para infraestructura debe llevarse a 8 lotes, cada uno con la respectiva área asignada/lote. Algunas granjas destinan un estanque adicional para cuando se debe trasladar un lote de reproductores ♀ y ♂ que estén trabajando, para descontaminación genética o profilaxis de un estanque, pero eso queda a criterio del productor.

6.6.3.4. Incubadoras

Ovas a incubar/lote = 447.951

Núm. ovas hidratadas/incubadora = 3.000 ovas (según especie)

Núm. incubadoras/lote = $\frac{447.951 \text{ ovas promedio/lote}}{3.000 \text{ ovas/incubadora}} = 149,32 \approx 150 \text{ incubadoras/lote}$

Incubadoras totales = 150 incubadores * 1 lote ovas = 150 incubadoras

6.6.3.5. Infraestructura para larvas-poslarvas

Área/lote L - PL (m²) = $\frac{142.111 \text{ L - PL promedio/lote}}{2.200 \text{ L - PL promedio/m}^2 \text{ (densidad)}} = 64,59 \text{ m}^2/\text{lote L - PL}$

1 estanque para L - PL/lote de 65 m²; sin embargo, se plantea un tanque de 64 m² cuyas medidas podrían ser 16 m largo por 4 m ancho (por la dificultad de construir un estanque con medidas de largo y de ancho decimales y con una relación largo:ancho de 4:1).

Debe determinarse la densidad real de L - PL dado que el área a utilizar será menor, es decir, 64 m².

$$\text{Densidad real para lote de L - PL} = \frac{142.111 \text{ L - PL promedio/lote}}{64 \text{ m}^2 \text{ para lote de L - PL}}$$

$$\text{Densidad real para lote de L - PL} = 2.220,48 \text{ L - PL promedio/m}^2$$

La densidad inicial planteada fue de 2.200 L – PL promedio/m² y finalmente quedó en 2.220,48 L – PL/m².

$$\text{núm. estanques L - PL/lote} = \frac{64 \text{ m}^2/\text{lote L - PL}}{64 \text{ m}^2 \text{ área estanque/lote L - PL}} = 1 \text{ estanque/lote L - PL}$$

$$\text{Total estanques o canaletas L - PL} = 1 \text{ estanque de } 64 \text{ m}^2/\text{lote L - PL} * 4 \text{ lote L - PL}$$

$$\text{Total estanques o canaletas L - PL} = 4 \text{ estanques de } 64 \text{ m}^2 \text{ para el total de lotes de L - PL}$$

6.6.3.6. Infraestructura para alevinos-juveniles

$$\text{Área/lote A - J (m}^2\text{)} = \frac{81.856 \text{ A - J promedio/lote}}{320 \text{ A - J promedio/m}^2 \text{ (densidad)}} = 256 \text{ m}^2/\text{lote A - J}$$

1 estanque para A - J/lote de 256 m²; sin embargo, se plantea un tanque de 259 m² cuyas medidas podrían ser 37 m largo por 7 m ancho (por la dificultad de construir un estanque con medidas de largo y de ancho decimales y con una relación largo:ancho de 5,28:1).

Debe determinarse la densidad real A - J dado que el área a utilizar será mayor, es decir, 259 m².

$$\text{Densidad real para lote de A - J} = \frac{81.856 \text{ A - J promedio/lote}}{259 \text{ m}^2 \text{ para lote de A - J}} = 316,04 \text{ A - J promedio/m}^2$$

$$\text{núm. estanques A - J} = \frac{259 \text{ m}^2/\text{lote A - J}}{64 \text{ m}^2 \text{ área estanque A - J}} = 4,04 \text{ estanques/lote de A - J}$$

$$\text{Total estanques A - J} = 4 \text{ estanques de } 64 \text{ m}^2/\text{lote A - J} * 15 \text{ lotes A - J}$$

$$\text{Total estanques A - J} = 60 \text{ estanques de } 64 \text{ m}^2 \text{ para el total de lotes de A - J}$$

6.6.3.7. Infraestructura para animales de ceba I

$$\text{Área/lote Anim. CI (m}^2\text{)} = \frac{27.437 \text{ Anim. CI promedio/lote}}{100 \text{ Anim. CI promedio/m}^2 \text{ (densidad)}} = 274 \text{ m}^2/\text{lote Anim. CI}$$

1 estanque para Anim. CI/lote de 274 m²; sin embargo, se plantea un tanque de 272 m² cuyas medidas podrían ser 34 m largo por 8 m ancho (por la dificultad de construir un estanque con medidas de largo y de ancho decimales y con una relación largo:ancho de 4,25:1).

Debe determinarse la densidad real Anim. CI dado que el área a utilizar será menor, es decir, 272 m².

$$\text{Densidad real para lote de Anim. CI} = \frac{27.437 \text{ Anim. CI promedio/lote}}{272 \text{ m}^2 \text{ para lote Anim. C}}$$

$$\text{Densidad real para lote de Anim. CI} = 100,87 \text{ Anim. CI promedio m}^2$$

También podrían considerarse dos tanques de 136 m² para cada lote de Anim. CI.

$$\text{núm. estanques Anim. CI} = \frac{272 \text{ m}^2/\text{lote de Anim. CI}}{136 \text{ m}^2 \text{ para lote de Anim. CI}} = 2 \text{ estanques de Anim. CI}$$

También podría ser:

$$\text{Total estanques Anim. CI} = 1 \text{ estanque de } 272 \text{ m}^2/\text{lote Anim. CI} * 10 \text{ lotes Anim. CI} = 10 \text{ estanques de } 272 \text{ m}^2 \text{ cada uno para el total de lotes de CI}$$

6.6.3.8. Infraestructura para animales de ceba II

$$\text{Área/lote Anim. CII (m}^2\text{)} = \frac{13.989 \text{ Anim. CII promedio/lote}}{70 \text{ Anim. CII promedio/m}^2 \text{ (densidad)}} = 200 \text{ m}^2/\text{lote Anim. CII}$$

1 estanque para Anim. CII/lote de 200 m²; sin embargo, se plantea un tanque de 198 m² cuyas medidas podrían ser 33 m largo por 6 m ancho (por la dificultad de construir un estanque con medidas de largo y de ancho decimales y con una relación largo:ancho de 5,5:1).

Debe determinarse la densidad real Anim. CII dado que el área a utilizar será menor, es decir, 198 m².

$$\text{Densidad real para lote de Anim. CII} = \frac{13.989 \text{ Anim. CII promedio/lote}}{198 \text{ m}^2 \text{ para lote de Anim. CII}} =$$

$$\text{Densidad real para lote de Anim. CII} = 70,65 \text{ Anim. CII promedio/m}^2$$

$$\text{núm. estanques Anim. CI} = \frac{198 \text{ m}^2/\text{lote de Anim. CII}}{198 \text{ m}^2 \text{ para lote de Anim. CII}} = 1 \text{ estanque de Anim. CII}$$

$$\text{Total estanques Anim. CII} = 1 \text{ estanque de } 198 \text{ m}^2/\text{lote Anim. CII} * 10 \text{ lotes Anim. CII}$$

$$\text{Total estanques Anim. CII} = 10 \text{ estanques de } 198 \text{ m}^2 \text{ cada uno para el total de lotes de CII}$$

6.6.3.9. Infraestructura para de hembras de reemplazo

Las hembras de reemplazo se pueden mantener en los 5 lotes o pueden ir en un solo estanque. Esto último, considerando que al momento de transferirlas a estanques, mientras inician reproducción, ya tienen una talla grande.

$$\text{Área requerida/lote HR (m}^2\text{)} = \frac{100,5 \text{ HR promedio/lote}}{20 \text{ HR promedio/m}^2 \text{ (densidad)}} = 5 \text{ m}^2/\text{lote HR}$$

1 estanque para HR/lote de 5 m² y al tenerse 5 lotes podrían tenerse en un solo estanque de 25 m², cuyas medidas podrían ser 10 m largo por 2,5 m ancho (relación largo: ancho de 2,5:1).

$$\text{Total área para total HR en granja} = 5 \text{ m}^2/\text{lote HR} * 5 \text{ lotes de HR}$$

$$\text{Total área para total HR en granja} = 25 \text{ m}^2 \text{ para el total de lotes HR}$$

6.6.3.10. Infraestructura para machos de reemplazo

Los machos de reemplazo se pueden mantener en los 5 lotes o pueden ir en un solo estanque. Esto último, considerando que al momento de transferirlos a estanques, mientras inician reproducción, ya tienen una talla grande.

$$\text{Área requerida/lote MR(m}^2\text{)} = \frac{35 \text{ MR promedio/lote}}{20 \text{ MR promedio/m}^2 \text{ (densidad)}} = 1,75 \text{ m}^2/\text{lote MR}$$

1 estanque para MR/lote de 1,7 m²; sin embargo, se plantea un tanque de 2 m²/lote, y al tenerse 5 lotes, podrían tenerse en un solo estanque

de 10 m² cuyas medidas podrían ser 5 m largo por 2 m ancho (por la dificultad de construir un estanque con medidas de largo y de ancho decimales y con una relación largo:ancho de 2,5:1).

Total área para total MR en granja = 2 m² /lote HR * 5 lotes de MR

Total área para total MR en granja = 10 m² para el total de lotes MR

6.6.4. Consumo de alimento en las diferentes fases de vida

Nota: es de anotar que para el consumo solo se considerará el número de lotes promedio/etapa sin incluir los días de profilaxis de la fase de vida, dado que en dicho periodo no hay consumo.

6.6.4.1. Consumo reproductores (sumatoria ♀ y ♂)

Consumo Alim./día/reproductores (sumatoria ♀ y ♂) =

900 g peso promedio ♀ y ♂ * 1% biomasa ofrecido como Alim./día * (10.135 ♀ + 3.379 ♂)

Consumo Alim./día/♀ y ♂ = 121.626 g/día para la totalidad de ♀ y ♂

Consumo Alim. ♀ y ♂/mes (kg) =

$$\frac{121.626 \text{ g/día total } \text{♀ y } \text{♂ promedio} * 30 \text{ días/mes}}{1.000 \text{ g/kg}} = 3.646 \text{ kg}$$

6.6.4.2. Consumo larvas-poslarvas

Para la realización del ejercicio se considerará un día de consumo en la fase de larva, entendiendo que no todas finalizan la reabsorción de saco vitelino simultáneamente. Por lo tanto se considerarán 23 días en total, teniendo en cuenta que la fase de poslarvas son 22 días. Para esta fase se considerarán:

núm. lotes L - PL para consumo sin profilaxis =

$$\frac{1 \text{ día fase L consume Alim.} + 22 \text{ días fase PL}}{7 \text{ días}} = 3,29 \text{ lotes}$$

Consumo Alim./día/L - PL =

0,515 g peso promedio L - PL * 5% biomasaofrecido como Alim./día * 142.111 L - PL/lote

Consumo Alim./día/L - PL = 3.659,36 g Alim./día/lote L - PL

Consumo Alim. periodo/lote L - PL (kg) =

$$\frac{3.659,36 \text{ g/día/lote L - PL} * 23 \text{ días/consumo ALim. L - PL}}{1.000 \text{ g/kg}}$$

Consumo Alim. periodo/lote L - PL (kg) = 84,17 kg Alim. por lote L - PL/periodo

Consumo Alim. L - PL/mes (kg) =

$$\frac{3.659,36 \text{ g/día/lote L - PL} * 30 \text{ días/mes} * 3,29 \text{ lotes L - PL sin profilaxis}}{1.000 \text{ g/kg}}$$

Consumo Alim. L - PL/mes (kg) = 361,17 kg Alim. consumido por el total de L - PL/mes

6.6.4.3. Consumo alevinos-juveniles

$$\text{núm. lotes A - J para consumo sin profilaxis} = \frac{60 \text{ días fase A} + 42 \text{ días fase J}}{7 \text{ días}} = 14,57$$

Consumo Alim./día A - J =

90,5 g peso promedio A - J * 3,75% biomasaofrecido como Alim./día * 81.856

Consumo Alim./día A - J = 277.798,8 g

Consumo Alim. periodo/lote A - J (kg) =

$$\frac{277.798,8 \text{ kg/día/lote A - J} * 102 \text{ días/consumo Alim. A - J}}{1.000 \text{ g/kg}} = 28.335,47 \text{ kg}$$

Consumo Alim. A - J/mes (kg) =

$$\frac{277.798,8 \text{ Alim./día/lote A - J} * 30 \text{ días/mes} * 14,57 \text{ lotes A-J sin profilaxis}}{1.000 \text{ g/kg}} = 121.425,85 \text{ kg}$$

6.6.4.4. Consumo promedio ceba I

$$\text{núm. lotes Anim. CI para consumo sin profilaxis} = \frac{63 \text{ días fase CI}}{7 \text{ días}}$$

núm. lotes Anim. CI para consumo sin profilaxis = 9 lotes Anim. CI sin profilaxis

Consumo Alim. periodo/lote Anim.CI (kg) =

$$\frac{167.365,7 \text{ g kg/día/lote Anim. CI} * 63 \text{ días/consumo Alim. Anim. CI}}{1.000 \text{ g/kg}} = 10.544,03 \text{ kg}$$

Consumo Alim. Anim. CI/mes (kg) =

$$\frac{167.365,7 \text{ g Alim./día/lote Anim. CI} * 30 \text{ días/mes} * 9 \text{ lotes Anim. CI sin profilaxis}}{1.000 \text{ g/kg}}$$

Consumo Alim. Anim. CI/mes (kg) = 45.188,73 kg

6.6.4.5. Consumo promedio ceba II

$$\text{núm. lotes Anim. CII para consumo sin profilaxis} = \frac{63 \text{ días fase CII}}{7 \text{ días}} = 9 \text{ lotes}$$

Consumo Alim./día/Anim. CII =

615 g peso promedio Anim. CII * 1,5% biomasa ofrecido como Alim./día * 13.989 Anim. CII/lote

Consumo Alim./día/Anim. CII = 129.048,52 g Alim./día/lote Anim. CII

Consumo Alim. periodo/lote Anim. CII (kg) =

$$\frac{129.048,52 \text{ g kg/día/lote Anim. CII} * 63 \text{ días/consumo Alim. Anim. CII}}{1.000 \text{ g/kg}} = 8.130,05 \text{ kg}$$

Consumo Alim. Anim. CII/mes (kg) =

$$\frac{129.048,52 \text{ g Alim./día/lote Anim. CII} * 30 \text{ días/mes} * 9 \text{ lotes Anim. CII sin profilaxis}}{1.000 \text{ g/kg}} =$$

Consumo Alim. Anim. CII/mes (kg) = 34.843,1 kg

6.6.4.6. Consumo promedio animales de reemplazo (♀ y ♂ de reemplazo)

$$\text{núm. lotes HR y MR (sin profilaxis)} = \frac{30 \text{ días fase de reemplazo}}{7 \text{ días}} = 4,29 \text{ lotes}$$

Consumo Alim./día/HR y MR =

825 g peso promedio HR y MR * 1,2% biomasa ofrecido como Alim./día * 134,5 HR y MR/lote

Consumo Alim./día/HR y MR = 1.331,55 g Alim./día/lote HR y MR

Consumo Alim. periodo/lote HR y MR (kg) =

$$\frac{1.331,55 \text{ g kg/día/lote HR y MR} * 30 \text{ días/consumo Alim. HR y MR}}{1.000 \text{ g/kg}} = 39,94 \text{ kg}$$

Consumo Alim. HR y MR/mes (kg) =

$$\frac{1.331,55 \text{ g Alim./día/lote HR y MR} * 30 \text{ días/mes} * 5 \text{ lotes HR y MR sin profilaxis}}{1.000 \text{ g/kg}} = 199,73 \text{ kg}$$

6.6.5. Flujograma para los lotes en las diferentes fases de vida

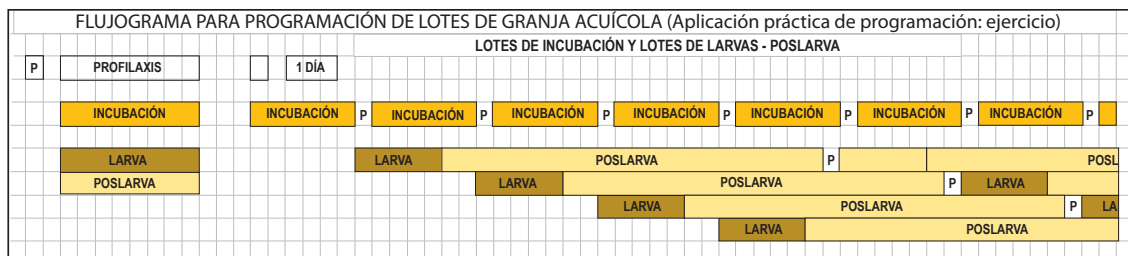


Figura 10. Ilustración de flujograma (detalle) para lotes de incubación y de larva-poslarvas

Fuente: elaboración propia

En la Figura 10 se puede observar el flujograma para las fases de vida de incubación (color naranja) y de larva y poslarva (colores café y amarillo respectivamente). La profilaxis (P) en las fases de incubación y de larva-poslarva es de color blanco. Se observa un lote de incubación con una duración de 6 días y 1 día de profilaxis, lo que conlleva a que solo sea un lote de incubación.

En la fase de larva-poslarva el periodo de larva dura 5 días, el de poslarva 22 días y se cuenta con un día de profilaxis, esto arroja un total de 28 días, lo que conlleva a que sean cuatro lotes. En este ejercicio las fases de larva y de poslarva se realizan en el mismo estanque o tanque.

Es de observarse que una vez finalizado el primer lote de incubación se inicia la fase de larva-poslarva y sucesivamente cada lote de incubación que termina empieza en el siguiente lote de la fase de larva-poslarva.

En la Figura 11 puede observarse el flujograma para las fases de vida de alevino-juvenil (colores naranja claro y naranja oscuro respectivamente). La profilaxis (P) en la fase de alevino-juvenil es de color blanco. Se observan 15 lotes de alevino-juvenil con una duración de 60 días para la fase de alevinos, 42 días para la fase de juvenil y tres días de profilaxis,

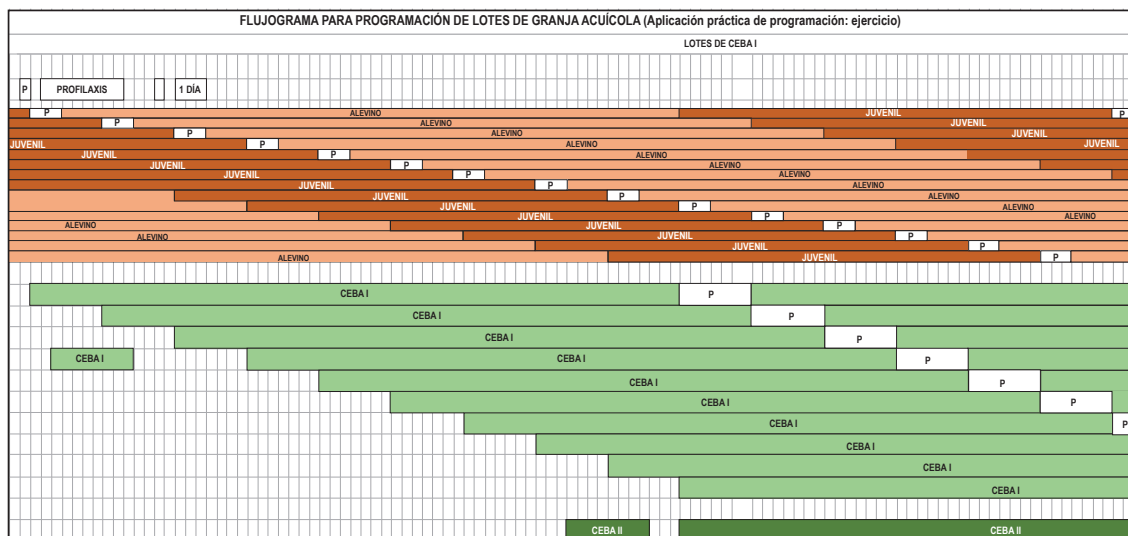


Figura 12. Ilustración de flujograma (detalle) para lotes de ceba I

Fuente: elaboración propia

En la Figura 12 se puede observar el flujograma para la fase de vida de ceba I (color verde claro). La profilaxis (P) en la fase de ceba I está en color blanco. Se observan 10 lotes en la fase de ceba I con una duración de 63 días de ocupación en ceba I y siete (7) días de profilaxis, lo que conlleva a que sean 10 lotes.

Es de observarse que al finalizar el primer lote de alevino-juvenil inicia la fase de ceba I y sucesivamente cada lote de alevino-juvenil que termina empieza en el siguiente lote de la fase de ceba I. Observar así mismo que al finalizar el periodo del primer lote de ceba I se inicia la fase de ceba II (detalle incompleto, color verde oscuro).

En la Figura 13 se observa el flujograma para la fase de vida de ceba II (color verde oscuro). La profilaxis (P) en la fase de ceba II está en color blanco. Al igual que en ceba I, la fase de ceba II presenta 10 lotes con una duración de 63 días de ocupación en ceba II y siete días de profilaxis.

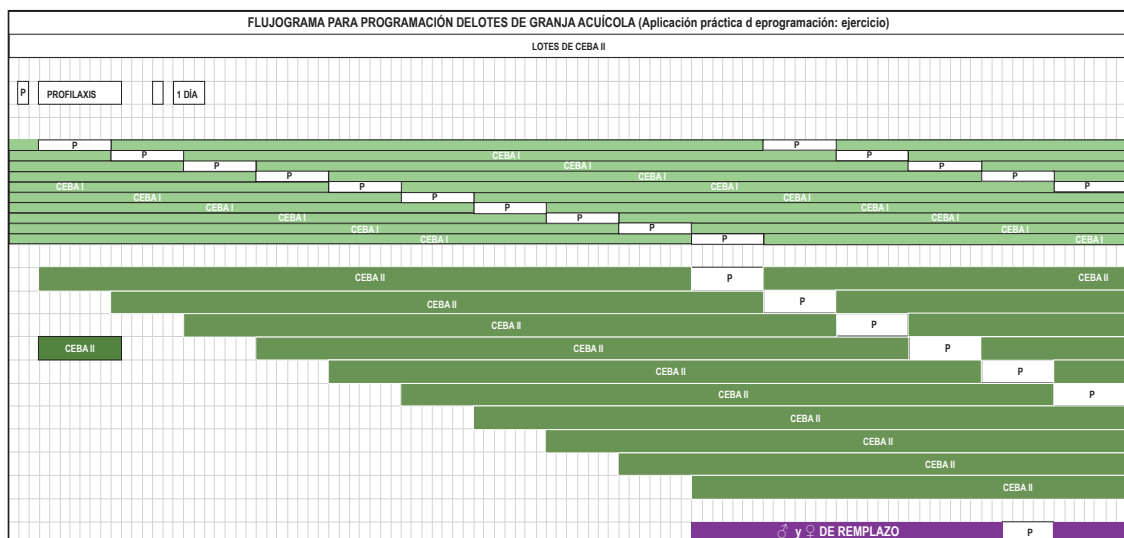


Figura 13. Ilustración de flujograma (detalle) para lotes de ceba II
Fuente: elaboración propia

Es de notar que al finalizar el primer lote de ceba I se inicia la fase de ceba II y sucesivamente cada lote de ceba I que termina empieza en el siguiente lote de la fase de ceba II. Observar también que al finalizar el periodo del primer lote de ceba II inicia la fase de ♀ y ♂ de reemplazo (detalle incompleto, color morado oscuro).

En la Figura 14 se observa el flujograma para la fase de vida de ♀ y ♂ de reemplazo (color morado oscuro). La profilaxis (P) en la fase de ♀ y ♂ de reemplazo está en color blanco. Son 5 lotes en la fase de ♀ y ♂ de reemplazo con una duración de 30 días de ocupación en ♀ y ♂ de reemplazo y cinco días de profilaxis.

Es de observarse que finalizado el primer lote de ceba II se da inicio a la fase de ♀ y ♂ de reemplazo y sucesivamente cada lote de ceba II que termina empieza en el siguiente lote de la fase de ♀ y ♂ de reemplazo.

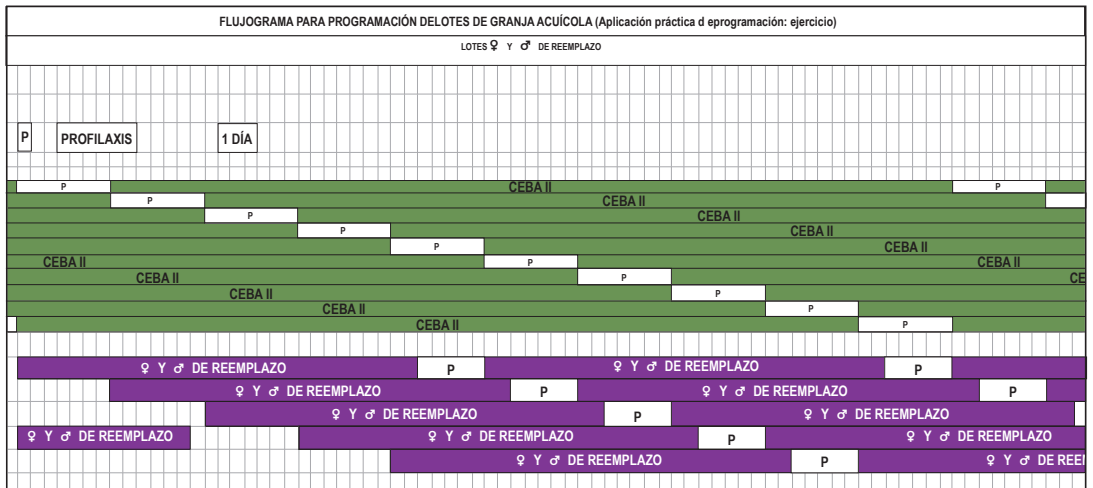


Figura 14. Ilustración de flujograma (detalle) para lotes de hembras y machos (♀ y ♂) de reemplazo

Fuente: elaboración propia

7

Evaluación económico-financiera

Participación: Dursun Barrios

En la mayoría de los sistemas de producción agropecuaria, incluida la actividad piscícola, la producción de los bienes finales es obtenida gracias al desarrollo consecutivo de procesos que agregan valor sistemáticamente al producto una vez se ejecuta cada fase o etapa intermedia. Estas generan como resultado productos semitransformados o semiterminados que se convierten en materias primas para un nuevo proceso productivo, en muchas ocasiones con características técnicas y productivas claramente distintas. Este hecho pone de manifiesto la necesidad de contar con un método adecuado para determinar los costos y realizar la evaluación financiera en este tipo de organizaciones, donde la organización interna, el sistema de producción y las tecnologías empleadas determinan el comportamiento de los factores de producción consumidos y los flujos de caja generados, siendo su valoración una medida específica para cada sistema, producto o situación particular (Álvarez y Sánchez, 2015).

El análisis económico y financiero de un proyecto piscícola comprende la recolección, estructuración, interpretación y análisis de valores económicos estimados que permiten la construcción de flujos de caja y la posterior estimación de los beneficios futuros derivados de la producción piscícola. A continuación se presenta una propuesta metodológica para el cálculo de los costos asociados a la producción de pescado y la evaluación financiera de un proyecto piscícola.

7.1. Análisis económico

Consiste en el cálculo y análisis de los costos generados por la actividad piscícola para un periodo de operaciones. Dicho análisis permite determinar la factibilidad del proyecto desde el punto de vista económico y es el insumo para realizar la proyección financiera del mismo.

7.1.1. Consideraciones previas al ejercicio de costeo

A continuación se presentan algunos conceptos previos requeridos para el análisis:

- **Centros de responsabilidad.** Dado que la actividad piscícola genera productos con niveles intermedios de desarrollo, que pueden destinarse bien sea a la venta o a la transferencia interna hacia otras etapas dentro del proceso productivo, se requiere control técnico y económico sobre los recursos insumidos en dicha actividad, haciéndose necesaria la definición e implementación de centros de responsabilidad (CR). Un CR es una unidad contable utilizada para tabular, controlar y analizar los costos o las utilidades generadas en un proceso, producto o división administrativa. Estos se dividen en:
 - **Centros de Costos (CC).** Se denomina CC a la unidad contable en la que se tabulan y analizan los costos asociados a la generación de productos con nivel intermedio de desarrollo que

son transferidos hacia otras etapas del proceso productivo. Si bien el producto se utiliza internamente, la factibilidad de su reemplazo con productos disponibles en el mercado a precios que podrían ser inferiores justifica la determinación de su costo, de manera que la decisión sobre el origen del mismo esté basada en datos de su costo real. Esta información permite obtener beneficios económicos mayores. Son ejemplos de centros de costos la producción de ovas, larvas, poslarvas o alevinos, entre otros, siempre y cuando sean utilizados dentro del sistema, es decir, no se vendan al mercado.

- **Centros de Utilidad (CU).** Un CU es aquella unidad contable en la cual es posible tabular y analizar no solo los costos sino también las utilidades asociadas a la generación de un producto, finalizado o no, que es puesto en el mercado. Son ejemplos de centros de utilidad la producción de alevinos que se vende a otras granjas o la producción y venta de pescado fresco o carne de pescado, según sea el caso.
- **Unidad objeto de costeo.** Si bien pareciera innecesario preguntarse qué es lo que se está costeando, en ocasiones la falta de claridad sobre el objeto de costeo genera inconsistencias en el manejo de la información contemplada en el análisis. Por ejemplo, si el ejercicio consiste en calcular cuánto cuesta producir un kilogramo de pescado fresco debe seleccionarse este proceso (engorde) como un centro de utilidad, sin perder de vista que solo los recursos implicados para desarrollar este proceso (engorde) serán los que deban ser considerados. Elementos relacionados con la etapa de reproducción, como alimentación, plan sanitario o uso de infraestructura para el sostenimiento de reproductores, no están relacionados con el objetivo de producir pescado fresco, razón por la cual, al tratarse

de un proceso distinto (producción de ovas), deberán ser excluidos de la estructura de costos de este centro de utilidad, haciéndose necesaria una unidad de costeo independiente (centro de costos). Nótese que en piscicultura lo que se tiene no es un único producto que sufre transformaciones intermedias a lo largo de la cadena de producción, lo que precisa establecer la unidad de análisis y costeo (centros de responsabilidad) en función del proceso desarrollado y del producto generado.

- **Definición del periodo de costeo.** Todo ejercicio de costeo debe responder a un periodo de operaciones (producción y venta del producto generado). Si bien en la contabilidad administrativa es posible costear periodos de cualquier duración (años, meses e incluso semanas), una recomendación general sería seleccionar un periodo lo suficientemente largo como para que incluya al menos un ciclo completo de producción bajo las distintas condiciones (de mercado, ambientales, entre otras), de manera que el resultado de la evaluación refleje valores promedio que sean útiles en la toma de decisiones.
- **Delimitación del proceso productivo.** Se conoce como proceso productivo al conjunto de actividades necesarias para transformar elementos de entrada o insumos en elementos de salida o productos finales, en este caso alevinos, pescado fresco o carne. La clara diferenciación de la frontera de producción, que contempla dónde inicia y dónde termina el proceso de producción analizado, permite clasificar los costos totales según su función. Así, se identifica, por ejemplo, cuáles serían los costos de producción estrictamente relacionados con el proceso que se costea y qué elementos de costos constituyen los denominados gastos operacionales.

La correcta clasificación de los costos totales en costos de producción y gastos operacionales permitirá realizar un mayor control de los recursos utilizados. Ese elemento es importante si se tiene en cuenta que es precisamente dentro del proceso productivo donde el productor puede incidir en incrementos de productividad por medio de intervenciones de carácter técnico, lo que se traduce en una mayor rentabilidad del sistema.

- **Costo de producción.** Se entiende por costos de producción a la valoración en unidades monetarias de los recursos que se consumen para producir bien sea un alevino o un gramo o kilogramo de carne de pescado, según sea el caso. Son ejemplos de costos de producción los alimentos balanceados, los medicamentos, la mano de obra, los servicios públicos, entre otros. Nótese que sin estos elementos sería imposible llevar a cabo el proceso productivo y es precisamente esta condición la que los define como costos de producción.

Un elemento a considerar es el hecho de que los recursos únicamente se convierten en costo en el momento en el que son consumidos. Por lo tanto, el capital invertido en materiales o insumos que fueron comprados pero que no se consumieron durante el periodo de costeo no hacen parte del costo de producción. Así, el valor de los insumos almacenados en inventario al cierre del periodo costeadado se deberán tomar como inversión en inventario y no como costo de producción. Una vez se consuman serán cargados al costo.

Conocer el costo de producción permite:

- Identificar cuáles de los procesos llevados a cabo son rentables y cuáles no.
- Establecer si se justifica o no permanecer en la actividad productiva.

- Evaluar si se es competitivo respecto a los precios de venta que establece el mercado.
- **Gasto operacional.** Se conoce como gasto operacional a la valoración de los recursos que no participan en el proceso productivo pese a ser necesarios para la normal operación del negocio. Son ejemplos de estos gastos los salarios administrativos, los impuestos, los intereses causados por financiación de deudas, la contratación de asesorías o consultorías, los arrendamientos de oficinas o instalaciones relacionadas con actividades administrativas, los fletes de producto terminado, entre otros. Una clasificación detallada de estos gastos podría generar las siguientes categorías: gastos administrativos, de distribución y venta, generales, financieros, tributarios, entre otros.
- **Costo total.** Agrupa la sumatoria de los costos de producción y los gastos operacionales. El costo total engloba la valoración del total de los recursos que fueron sacrificados para producir y poner en el mercado la producción de pescado generada en un periodo determinado.

Es necesario contemplar que la gestión de costos aplica el principio contable de la causación y por lo tanto la valoración del costo total incluye todos aquellos elementos que fueron causados o utilizados durante el periodo costeadado, sin importar si estos fueron efectivamente pagados o no durante el periodo analizado.

7.1.2. Metodología para el análisis económico en producción piscícola

Para llevar a cabo el proceso de costeo y posterior evaluación financiera en sistemas de producción piscícola son necesarios los siguientes pasos:

- **Identificar el periodo que se desea costear:** como se explicó anteriormente, es necesario definir el periodo en el cual se estructurará el cálculo de los costos siendo recomendable un periodo no muy corto.
- **Definir centros de responsabilidad:** definir cuántos y cuáles centros de responsabilidad se requieren para el análisis en función de la necesidad de controlar, en cantidad y valor, los recursos insumidos en cada etapa del proceso. Lo anterior estará determinado por las particularidades existentes en el manejo técnico entre las distintas etapas del proceso o por la necesidad de evaluar el margen de utilidad generado por los productos intermedios que son puestos en el mercado.
- **Identificar qué recursos son utilizados en el proceso de producción:** cuando se desea estructurar los costos en una producción piscícola es necesario identificar los recursos utilizados con base en la información contenida en los registros productivos y contables, así como sus características técnicas y nivel tecnológico. Estos habitualmente generan diferencias en términos de costos entre sistemas de producción dedicados a la misma actividad, incluso cuando están ubicados en zonas geográficas similares.

Estos recursos se clasifican en los siguientes grupos:

— **Materiales y materias primas**

En este grupo se incluyen los elementos que se consumen periódicamente en el desarrollo de la actividad productiva con el objetivo de producir bien sea alevinos, pescado fresco o carne de pescado.

Se entiende por materia prima aquel elemento que se transforma durante el proceso productivo y se identifica, luego de su

transformación, en el producto final. Son ejemplos de materias primas los alevinos que se adquieren o generan como insumo para producir animales cebados al final del proceso productivo o el pescado fresco que ingresa al proceso de beneficio.

Es importante aclarar que a pesar de que este grupo genéricamente se denomina materiales y materias primas, en el proceso específico de la producción de alevinos, como en otros procesos de producción primaria, no existe ningún elemento que cuente con las características para ser nombrado como materia prima, dado que el producto final (alevinos) es generado por procesos biológicos. Por lo tanto, en la estructura de costos de producción de este proceso todos los elementos que se consumen serán denominados materiales.

Los materiales ayudan a la transformación de las materias primas, pero no necesariamente se transforman o identifican en el producto final. Ejemplo de materiales son los alimentos balanceados, los desinfectantes, el oxígeno, los empaques, entre otros.

— **Mano de obra**

En este grupo se incluyen los desembolsos relacionados con el capital humano que desempeña una labor o actividad dentro del proceso. Su valoración contempla el salario, incluyendo bonificaciones y recargos por trabajo complementario como horas extras o dominicales y festivos, así como seguridad social, prestaciones sociales, vacaciones y aportes parafiscales. Nótese que en el cálculo del costo de un periodo, los costos salariales incluyen todas las erogaciones asociadas al personal incluyendo las retribuciones en especie como habitación o alimento.

— Bienes duraderos

También denominados activos fijos, los bienes duraderos de la organización son aquellos que tienen una duración relativamente larga. Esto quiere decir que son utilizados durante varios ciclos de producción y que el fin con el que se adquirieron fue el de utilizarse en la actividad productiva y no el ser vendidos en el corto plazo.

Los bienes duraderos más comunes en piscicultura son:

Físicos: equipos, construcciones e instalaciones, vehículos, entre otros.

Biológicos: reproductores. Usualmente el valor del activo biológico está dado por el valor comercial del lote de reproductores.

Nota: los animales en proceso de engorde o ceba no hacen parte de los bienes duraderos pues representan el producto que está en transformación y será vendido como producto final al terminar el ciclo productivo. En este caso son considerados inventario de producto en proceso.

Los costos generados por los bienes duraderos son el mantenimiento y la depreciación, aunque se acostumbra denominar este último en función del tipo de activo, bien sea como amortización cuando el activo fijo es un bien biológico o diferido cuando se trata de activo intangible (nominal), como los trámites de constitución o las certificaciones de calidad, entre otros, dejando el término depreciación solo para referirse al costo generado por el uso de los activos fijos físicos.

— Servicios de terceros

Incluye los costos generados de la utilización de servicios que no genera la unidad productiva y que por lo tanto deben ser adquiridos o contratados con externos. Son ejemplos de ser-

vicios de terceros el pago de arrendamientos, fletes, servicios públicos y asesorías técnicas, entre otros.

- **Clasificar los costos**

- **Según comportamiento:** al analizar los costos de producción de una organización piscícola es importante conocer el impacto que estos generan en las utilidades ante escenarios de incertidumbre o disminución en el nivel de ventas. Para ello es útil la clasificación del comportamiento de los costos a partir de las siguientes posibilidades:

- **Costos fijos:** son aquellos que permanecen constantes respecto a las unidades consumidas del bien sin importar el nivel de producción y ventas con el que se opere. Cuando se tiene una proporción importante de costos fijos existe un mayor riesgo sobre las utilidades dada una posible disminución futura en las ventas. Ejemplos de costos fijos son: arrendamientos, impuesto predial, depreciaciones, amortizaciones de activos biológicos, mano de obra vinculada e intereses sobre deudas, entre otros.

- **Costos variables:** en este grupo se incluyen aquellos recursos que cambian la cantidad consumida en función de las oscilaciones que sufran las ventas. Es decir que el consumo de estos recursos disminuye si las ventas caen. Entre estos se incluyen el alimento balanceado en etapas de engorde y de ceba, los fletes de producto terminado y las materias primas utilizadas en ceba o beneficio si lo hay.

Un aspecto a considerar es que un recurso puede cambiar su comportamiento de acuerdo con el centro de responsabilidad o etapa que se esté analizando. Por ejemplo, mientras el alimento balanceado es un costo variable en la etapa de engor-

de, puesto que las cantidades consumidas varían en función de los kilogramos de ganancia de peso obtenida en el periodo, en la producción de ovas es considerado costo fijo en tanto el alimento consumido por los reproductores no se encuentra relacionado con la cantidad de ovas producidas.

→ **Costos mixtos:** son los costos que simultáneamente tienen una fracción fija y una variable. Un típico costo mixto son los servicios públicos, los cuales incluyen un cargo fijo y otra fracción variable según el consumo. Lo ideal es separar ambas fracciones y ubicarlas en el grupo de fijos o variables según corresponda.

— **Según identificación:** se trata de la posibilidad de identificar la cantidad y el valor de un recurso con el centro de responsabilidad que lo ha generado. Dentro de esta clasificación se tienen:

→ **Costos directos:** son los que pueden identificarse fácilmente en cantidad y valor con el producto, proceso o división administrativa. Son ejemplos de costos directos los materiales o la mano de obra que pueda calcularse para un centro de responsabilidad específico, por lo tanto en este centro será cargada la totalidad del recurso insumido.

→ **Costos Indirectos:** son aquellos recursos de los que se conoce su monto global para toda la organización o para un conjunto de productos, no siendo posible asociarlos con un producto, proceso o división administrativa específica, por lo que para su asignación se requiere el uso de bases de distribución (metros cuadrados, horas trabajadas, unidades producidas por lote, entre otros). Ejemplos de costos indirectos son los arrendamientos, la depreciación de maquinaria, el salario del jefe de producción, entre otros.

- **Valoración en unidades monetarias de los recursos utilizados**

En este ítem es importante contemplar que tanto las cantidades como los precios de adquisición de los bienes y servicios utilizados en cada centro de responsabilidad se tabulan a valores promedio. Lo anterior debido a que normalmente durante el periodo analizado se presentan fluctuaciones derivadas del comportamiento de las fuerzas de mercado y los tipos de cambio, entre otras variables; por lo que sería bastante dispendioso tabular dichos valores con un nivel de detalle innecesario.

- **Elaborar la estructura de costos:** existen varias formas de presentar la estructura de costos dependiendo de la información disponible y el tipo de análisis que se desee abordar. Si se pretende realizar análisis de equilibrio, lo cual sería ideal, es común incluir la clasificación de los costos según comportamiento, lo cual a su vez exige la clasificación de los costos según identificación.
- **Análisis de equilibrio:** una herramienta de gran utilidad para el productor es el análisis del punto de equilibrio. Con ella es posible conocer qué cantidad de producción vendida es necesaria para cubrir los costos fijos y los variables. Conocer este indicador permite al productor verificar qué tanto riesgo presenta la operación de la empresa en caso de que las ventas de los productos acuícolas disminuyan, además de realizar control y planificación de la producción en el corto plazo. Para su cálculo es necesario contar con los siguientes datos:
 - **Precio de venta (\$/kg):** calculado como valor promedio del precio pagado por la producción de pescado para el periodo analizado.
 - **Costo fijo total (\$/periodo):** equivale a la suma de los costos fijos totales de producción (CFTP) y los gastos operacionales que sean fijos.

— **Costo variable unitario (\$/kg):** calculado de la siguiente manera:

$$\text{Costo Variable Unitario (CVU) (\$/unidad o kg)} = \frac{\text{Costos variables totales (CVT)/periodo}}{\text{unidades o kg producidos/periodo}}$$

Donde:

$$\text{CVT (\$/periodo)} = \text{Costos variables totales de producción} + \text{Gastos operacionales variables}$$

Con ello, es posible calcular el punto de equilibrio así:

$$\text{Punto de equilibrio (kg/periodo)} = \frac{\text{Costos fijos totales (CFT)}}{\text{Precio Venta Unitario (PVU) - CVU}}$$

Es posible calcular el punto de equilibrio tanto en unidades físicas del producto como en unidades monetarias, siendo este último la única alternativa viable en caso tal que se cuente con más de un centro de utilidad, pues al vender varios productos claramente distintos en su presentación comercial (kg de carne de pescado, ovas, alevinos, entre otros) no tendría sentido interpretar este resultado en unidades.

Para calcular el punto de equilibrio en pesos basta con conocer el margen de contribución así:

$$\text{Punto de equilibrio (\$/período)} = \frac{\text{Costos fijos totales (CFT)}}{\text{Margen de contribución}}$$

Donde:

$$\text{Margen de contribución} = \frac{\text{PVU} - \text{CVU}}{\text{PVU}}$$

Una vez conocido el punto de equilibrio, el productor podrá planificar la producción (por niveles superiores al punto de equilibrio) y establecer control permanente de la producción, de manera que sea posible verificar qué tan alejado se encuentra el nivel de ventas actual de la producción de equilibrio y por tanto controlar también las utilidades esperadas.

7.2. Evaluación financiera

La evaluación financiera busca determinar los niveles de rentabilidad y de riesgo asociados al proyecto piscícola por medio de la comparación

de los beneficios (ingresos) que genera el proyecto con los costos (egresos) en los que se incurre. Existen diversos métodos para proyectar los resultados futuros del proyecto, siendo su aplicación tan compleja y profunda como lo permita la cantidad y calidad de la información disponible. Los indicadores de evaluación financiera de proyectos básicos son:

7.2.1. Valor presente neto (VPN)

Es el valor presente de los flujos futuros del proyecto descontados a la tasa de oportunidad del inversionista. Dado que los flujos de fondo del proyecto equivalen a la diferencia entre los beneficios (ingresos) y los costos (egresos) del proyecto a lo largo de su periodo de análisis, un VPN positivo significa que el proyecto presenta mayores ingresos que egresos y por lo tanto sería, en principio, una opción de inversión viable. Es importante aclarar que no todos los proyectos generan flujos de fondo positivos, pues en ocasiones se realizan inversiones como alternativa de minimización de costos, por lo tanto el criterio sería que a mayor VPN mayor es el beneficio obtenido por el inversor.

7.2.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Expresa la tasa de descuento a la que se obtendría un VPN igual a cero. Esto es, aquella tasa de descuento en la que los ingresos descontados igualan los egresos descontados del proyecto y por lo tanto equivale a la rentabilidad interna del mismo. Dado que la tasa de oportunidad del inversionista suele ser distinta a la TIR, la comparación entre ambas permite decidir sobre la conveniencia o no del proyecto así:

- *Si $TIR \geq$ Tasa de oportunidad el proyecto se acepta, pues supondría una rentabilidad igual o superior a la tasa exigida por el inversionista.*
- *Si $TIR <$ Tasa de oportunidad el proyecto se rechaza, pues en este caso la rentabilidad del proyecto no cubre el mínimo exigido por el inversor.*

La TIR puede ser calculada por método aritmético o gráfico, pero se recomienda el uso de hoja de cálculo por ser un método rápido y sencillo.

7.3. Aplicación práctica

7.3.1. Definición técnica, productiva y económica

Especie(s) a producir: _____

Ciclo productivo (fase(s)): _____

Volumen y condiciones de la producción: _____

Número de reproductores: ♀ _____ ♂ _____ Proporción machos: hembras: _____ : _____

Eficiencia reproductoras hembras: _____ %. Eficiencia reproductores machos: _____ %

Hembras: Cantidad _____

Valor (calcularlo con base en costo de producción): \$ _____ Vida útil: _____ Peso promedio _____ kg

Machos: Cantidad _____

Valor (calcularlo con base en costo de producción): \$ _____ Vida útil: _____ Peso promedio _____ kg

Núm. desoves/hembra: (ciclo reproductivos-CR/año) _____

Producción promedio huevos//hembra/desove: _____ Producción promedio huevos hembra/año: _____

Productos a obtener:

Número de ovas/RP
(semana, quincena, mes): _____ Número ovas/año: _____

Número de larvas/RP
(semana, quincena, mes): _____ Número larvas/año: _____

Número de poslarvas/RP
(semana, quincena, mes): _____ Número poslarvas/año: _____

Número de alevinos/RP
(semana, quincena, mes): _____ Número alevinos/año: _____

Número de juveniles/RP
(semana, quincena, mes): _____ Número juveniles/año: _____

Número de animales en pie/RP
(semana, quincena, mes): _____ Número juveniles/año: _____

Número de hembras futuras reproductoras /RP
(semana, quincena, mes): _____ Número hembras/año: _____

Número de machos futuros reproductores/RP
(semana, quincena, mes): _____ Número machos/año: _____

Producto consumo fresco:

Rendimiento en canal: _____% (eviscerado, descamado, sin branquias 79-81%)

Rendimiento en canal: _____% (eviscerado, descamado, sin branquias, presentación mariposa, PBO: 75-79%)

Rendimiento en canal: _____% (filete sin vísceras, sin cabeza, sin piel, sin pedúnculo: 35-39% tilapia, 45-50% trucha)

Volumen presentación final:

3 animales/kg: _____ t Número animales _____ Peso final húmedo: _____ g

2 animales/lb: _____ t Número animales _____ Peso final húmedo: _____ g

3 animales/lb: _____ t Número animales _____ Peso final húmedo: _____ g

Filete (núm. filetes/animal, peso filete): _____ g Número animales _____ Peso final húmedo: _____ g

Animales en vivo (cebados) _____ t Número animales _____ Peso final húmedo: _____ g

7.3.2. Resumen técnico por etapas

Etapa	Núm. Inicial/lote	Núm. Final/lote	Núm. Promedio animales/lote	Núm. de lotes por etapa	Stock por etapa	Densidad y número de estanques/etapa	Consumo de O ₂ /etapa (mg/h)	Caudal requerido por etapa (calcular sin reutilización)	Reutilización agua			
									Caudal reutilizado (tomar el Q de la etapa anterior) (l/s)	Caudal fresco adicional el Q reutilizado (l/s)	Caudal total (sumatoria Q reutilizado más Q fresco adicional)	Porcentaje reutilización (respecto del Q requerido/etapa sin reutilización)
Ovas												
Larvas												
Poslarvas												
Alevinos												
Dedinos (truchas)												
Levante												
Engorde I												
Engorde II												
♀ futuras reproductoras												
♂ futuros reproductores												
Reproductoras ♀												
Reproductores ♂:												
TOTAL												

O₂ entrada: _____ mg/l

O₂ salida: _____ mg/l

ΔO₂: _____

7.3.3. Resumen evaluación de alimento e índices

Para calcular la conversión es necesario trabajar el consumo total de la etapa y el peso ganado total de la etapa. No se debe hacer por animal porque se incurre en error pues no quedaría incluido el alimento de los que murieron en el periodo.

Para calcular el consumo por biomasa se trabajará con el peso promedio por animal por el número promedio de animales/etapa.

Si se trabaja con dos especies, hacerla para cada una de ellas.

Etapa fisiológica	Número inicial animales /lote	Número final animales/lote	Número promedio animales/ lote	Número animales promedio/etapa (todos los lotes)	Peso inicial animal (g o kg según aplique)	Peso final animal(g o kg según aplique)	Peso promedio/animal (g o kg según aplique)	Peso ganado/ lote (g o kg según aplique)	Porcentaje de alimentación suministrada como porcentaje de la biomasa	Consumo alimento /periodo/etapa (todos los lotes (kg/etapa)	Conversión	Tasa de crecimiento específico (%) $\frac{\ln \text{PF} - \ln \text{PI}}{\text{Duración periodo}} \times 100$
Larvas***												
Poslarvas												
Alevinos												
Dedinos												
Juveniles												
Levante												
Ceba 1												
Ceba 2												
Reproductoras ♀												
Reproductores ♂												
♀ futuras reproductoras												
♂ futuros reproductores												
♂ reposición												
♀ reposición												

***Si se suministra algo de alimento

7.3.4. Activos fijos (instalaciones y equipos)

Cálculo de costos con base en: semana _____, mes _____ año: _____

(marque con una x)

No tener en cuenta valor de salvamento

Definir el periodo por el cual ha sido cargado el valor: mes _____ año _____

Detalle	Cant. (Unidades)	Precio Unitario	Precio Total	Vida Útil	Valor periodo
Adquisición de terreno (cuadra, m ² , ha)	_____	_____	_____	_____	_____
Adecuación de terreno (cuadra, m ² , ha)	_____	_____	_____	_____	_____
Cercado de terreno	_____	_____	_____	_____	_____
Presa y bocatoma (costo m ³ de caudal)	_____	_____	_____	_____	_____
Canal abastecimiento principal (m)	_____	_____	_____	_____	_____
Reservorio	_____	_____	_____	_____	_____
Desarenadores (m ²)	_____	_____	_____	_____	_____
Filtros (Grava)	_____	_____	_____	_____	_____
Lagos de oxidación (10% área) (___ m ²)	_____	_____	_____	_____	_____
Estanques concreto (16 - 22 kg/m ²)	_____	_____	_____	_____	_____
Estanques tierra (3 - 15 kg/m ²)	_____	_____	_____	_____	_____
Estanques revestidos (6 - 20 kg/m ²)	_____	_____	_____	_____	_____
Estanques geomembrana (20-30 kg/v)	_____	_____	_____	_____	_____
Jaulas flotantes (30-50 kg/m ³)	_____	_____	_____	_____	_____
Tanques de geomembrana	_____	_____	_____	_____	_____
Canaletas (larvas y poslarvas) (m ²)	_____	_____	_____	_____	_____
Canales conducción secundarios (m)	_____	_____	_____	_____	_____
Cajas de pesca o monjes	_____	_____	_____	_____	_____
Doble tubo, codo, etc.	_____	_____	_____	_____	_____
Planta tratamiento de agua residual	_____	_____	_____	_____	_____
Laboratorio (m ²)	_____	_____	_____	_____	_____

Detalle	Cant. (Unidades)	Precio Unitario	Precio Total	Vida Útil	Valor periodo
Sala de incubación y larvicultura (m ²)	_____	_____	_____	_____	_____
Sala de sacrificio y empaque (m ²)	_____	_____	_____	_____	_____
Bodega (m ²)	_____	_____	_____	_____	_____
Trampa de grasas	_____	_____	_____	_____	_____
Construcción vivienda (m ²)	_____	_____	_____	_____	_____
Aireadores: tipo _____	_____	_____	_____	_____	_____
Otro tipo: _____	_____	_____	_____	_____	_____
Piedras difusoras	_____	_____	_____	_____	_____
Bomba (¾ HP)	_____	_____	_____	_____	_____
Bomba (1 HP)	_____	_____	_____	_____	_____
Balanza dos dígitos (precisión 0,1 g)	_____	_____	_____	_____	_____
Balanza analítica (precisión 0,0001 g)	_____	_____	_____	_____	_____
Báscula (15 kg, precisión 0,5 g)	_____	_____	_____	_____	_____
Cava (1500 lb, 1m x 1m)	_____	_____	_____	_____	_____
Cava (3m x 2m x 2m, 4 t)	_____	_____	_____	_____	_____
Cava (capacidad ____ t)	_____	_____	_____	_____	_____
Congelador (1.000 lb, 22 pies ³)	_____	_____	_____	_____	_____
Máquina de hielo (sala proceso)	_____	_____	_____	_____	_____
Afiladora (sala proceso)	_____	_____	_____	_____	_____
Dosificador de cloro (sala proceso)	_____	_____	_____	_____	_____
Tratamiento rayos UV (sala proceso)	_____	_____	_____	_____	_____
Aspiradora de vísceras (sala proceso)	_____	_____	_____	_____	_____
Mesa y poceta acero inoxidable (sala proceso)	_____	_____	_____	_____	_____
Para 2 personas, 1,5 m	_____	_____	_____	_____	_____
Para 3 personas, 1,8 m	_____	_____	_____	_____	_____
Para 3 personas, 2,0 m	_____	_____	_____	_____	_____

Detalle	Cant. (Unidades)	Precio Unitario	Precio Total	Vida Útil	Valor periodo
Selladora (sala proceso)	_____	_____	_____	_____	_____
Incubadora vertical (8 bandejas)	_____	_____	_____	_____	_____
Incubadora McDonald (13 l)	_____	_____	_____	_____	_____
Incubadora Agrover (200 l)	_____	_____	_____	_____	_____
Incubadora artesanal (1 l)	_____	_____	_____	_____	_____
Comederos automáticos	_____	_____	_____	_____	_____
Sistemas de identificación: (Lector, aplicador, microchips x 25)	_____	_____	_____	_____	_____
Elastómeros (gel con color)	_____	_____	_____	_____	_____
Microscopio	_____	_____	_____	_____	_____
Estereoscopio _____	_____	_____	_____	_____	_____
Ictiómetro (1 m, acrílico o madera)	_____	_____	_____	_____	_____
Clasificadores: alevinos, juveniles	_____	_____	_____	_____	_____
Alevinos, ceba y adultos (plástico)	_____	_____	_____	_____	_____
Alevinos, ceba y adultos (madera)	_____	_____	_____	_____	_____
Caudalímetro (AE 64C, 40-200 gal/min)	_____	_____	_____	_____	_____
Termostatos	_____	_____	_____	_____	_____
Resistencia (calentamiento agua)	_____	_____	_____	_____	_____
Equipo de pesca (electropesca)	_____	_____	_____	_____	_____
Kit para análisis de agua (Hach)	_____	_____	_____	_____	_____
Multiparámetros fco-qcos (Merck)	_____	_____	_____	_____	_____
Multiparámetros fco-qcos (Hanna)	_____	_____	_____	_____	_____
Oxímetro	_____	_____	_____	_____	_____
Sistema oxígeno líquido	_____	_____	_____	_____	_____
pHmetro	_____	_____	_____	_____	_____
Disco Secchi	_____	_____	_____	_____	_____
Termómetro (digital)	_____	_____	_____	_____	_____
Nasas (___ pulgadas, triangular)	_____	_____	_____	_____	_____
Nasas (___ pulgadas, circular)	_____	_____	_____	_____	_____
Nasas (___ pulgadas, circular)	_____	_____	_____	_____	_____

Detalle	Cant. (Unidades)	Precio Unitario	Precio Total	Vida Útil	Valor periodo
Canastas (25 kg c/u, para 15 días)	_____	_____	_____	_____	_____
Nasa grande (__ m* __ m, __ nudo)	_____	_____	_____	_____	_____
Nasa pequeña (__ m* __ m, __ nudo)	_____	_____	_____	_____	_____
Red para plancton (100 um)	_____	_____	_____	_____	_____
Carretilla	_____	_____	_____	_____	_____
Cuchillos para sacrificio (acero inox.)	_____	_____	_____	_____	_____
Cuchillos para sacrificio (al carbón)	_____	_____	_____	_____	_____
Guantes de acero inoxidable	_____	_____	_____	_____	_____
Delantales y gorros	_____	_____	_____	_____	_____
Vehículo	_____	_____	_____	_____	_____
Otros	_____	_____	_____	_____	_____
Computador	_____	_____	_____	_____	_____
Impresora	_____	_____	_____	_____	_____
Trámites legales de constitución	_____	_____	_____	_____	_____
Análisis de suelos para establecimiento	_____	_____	_____	_____	_____
Análisis de agua para establecimiento (Microbiológico, metales pesados, físico-químico)	_____	_____	_____	_____	_____

***Si se suministra algo de alimento

7.3.5. Materiales y materias primas

Detalle	Unidades (bultos, kg o anim.)	Cantidad Precio Unitario	Cantidad Precio Unitario	Valor Total
Ovas nacionales	_____	_____	_____	_____
Ovas importadas	_____	_____	_____	_____
Larvas de _____	_____	_____	_____	_____
Poslarvas de _____	_____	_____	_____	_____
Alevinos trucha	_____	_____	_____	_____
Alevinos tilapia	_____	_____	_____	_____
Alevinos cachama blanca	_____	_____	_____	_____
Alimento AGRINAL	_____	_____	_____	_____
Reversarina (45%)_____	_____	_____	_____	_____
Mojarra ___%prot	_____	_____	_____	_____
Mojarra ___%prot	_____	_____	_____	_____
Truchina sin pig.	_____	_____	_____	_____
Truchina con pig.	_____	_____	_____	_____
Transfer	_____	_____	_____	_____
Truchas sin pig.	_____	_____	_____	_____
Truchas con pig.	_____	_____	_____	_____
SOLLA	_____	_____	_____	_____
Mojarra 45	_____	_____	_____	_____
Mojarra 38	_____	_____	_____	_____
Mojarra 32	_____	_____	_____	_____
Mojarra 24	_____	_____	_____	_____
Truchas 50	_____	_____	_____	_____
Truchas 43	_____	_____	_____	_____
Truchas 40	_____	_____	_____	_____
Truchas 40 CP	_____	_____	_____	_____
CONTEGRAL (FINCA)	_____	_____	_____	_____
Mojarra ___%prot	_____	_____	_____	_____
Mojarra ___%prot	_____	_____	_____	_____
Mojarra ___%prot	_____	_____	_____	_____
Cachama ___%prot	_____	_____	_____	_____

Cachama __%prot	_____	_____	_____	_____
Truchas sin pig. _____	_____	_____	_____	_____
Truchas con pig. _____	_____	_____	_____	_____
Truchas __%prot	_____	_____	_____	_____
Truchas __%prot	_____	_____	_____	_____
Truchas __%prot	_____	_____	_____	_____
Flete alimento (\$_____/bulto o t)	_____	_____	_____	_____
Hormona: (EPC, 1.000 mg)	_____	_____	_____	_____
Hormona: 17 α metil testosterona 10 g	_____	_____	_____	_____
Artemia salina x 454 g	_____	_____	_____	_____
Anestésicos: MS-222 x 100 g	_____	_____	_____	_____
Sal (kg)	_____	_____	_____	_____
Quinaldine (x _____ ml)	_____	_____	_____	_____
Desinfectante (yodado)	_____	_____	_____	_____
Alcohol calidad reactivo (95%)	_____	_____	_____	_____
Alcohol (70%)	_____	_____	_____	_____
Azul de metileno x lb	_____	_____	_____	_____
Formol _____ (galones)	_____	_____	_____	_____
Empaque (___ lnd/bolsa, s/talla)	_____	_____	_____	_____
Bolsas transporte de alevinos	_____	_____	_____	_____
Cajas de cartón (capacidad 80 lb)	_____	_____	_____	_____
Bandas de caucho (kg)	_____	_____	_____	_____
Flete producto (___ horas/día)	_____	_____	_____	_____
Combustible (galones)	_____	_____	_____	_____
Energía procesos (sacrificio, blowers)	_____	_____	_____	_____
Pipeta oxígeno (_____ lb)	_____	_____	_____	_____
Oxígeno (_____ lb)	_____	_____	_____	_____
Aceite de cocina	_____	_____	_____	_____
Otros _____	_____	_____	_____	_____
(Especificar el periodo)	_____	_____	_____	_____

7.3.6. Mano de obra

Técnico (Salario/mes más cargas laborales, aproximadamente 60%) _____

Mano de obra vinculada (1 operario/20000 animales) _____

Mano de obra ocasional (sacrificio -120 animales/día PBO o 400 animales PBI) _____

7.3.7. Gastos operacionales

Asesoría externa
(profesional asesor del área, MV, Ing. Civil) _____

Salario personal de vigilancia _____

Salario secretaria _____

Salario mensajería _____

Honorarios contables _____

Salario personal de ventas _____

Merced de agua y reforestación de cuencas _____

Tasa retributiva del agua _____

Servicios públicos (funcionamiento oficinas, casa) _____

Telecomunicaciones (telefonía fija y móvil e internet) _____

Impuestos (predial, industria y comercio) _____

Otros gastos _____

TOTAL _____

7.3.8 . Análisis por centros de responsabilidad

Se debe determinar la proporción en que las instalaciones, el equipo e insumos indirectos son consumidos por los diferentes centros. Esto debe hacerse como una aproximación a la realidad.

Los costos variables pueden ser:

- Ovas, alevinos (para engorde)
- Alimento balanceado
- Pérdidas por vísceras y espinas
- Medicamentos (oxitetraciclina, nuflor, azul de metileno)
- Anestésicos (quinaldine, MS-222)
- Fletes en compras
- Mano de obra (de proceso)
- Empaques (cajas de cartón, bolsas plásticas de diferentes tamaños, bandas de caucho, oxígeno)
- Servicios públicos (que varíen en función de la producción)
- Costo de uso del agua
- Flete de comercialización

Los costos fijos pueden ser:

- Salarios operarios y celador
- Salario administrador y sus costos de ley
- Desinfectantes (yodados, formol, sal, cal viva)
- Servicios públicos en instalaciones administrativas

- Depreciación de construcciones
- Amortización de reproductores
- Depreciación de equipos (de laboratorio, de computación, refrigeradores, cavas)
- Otros gastos (papelería, oficina, etc.)
- Material fungible (escobas, cepillos, baldes, bolsas, bandas de caucho, cuchillos, gorras, delantales)

Centros de responsabilidad

Puede seleccionar uno o varios de acuerdo a necesidades, siendo Centro de Costos o Centros de Utilidad según sea el caso.

- Centro de responsabilidad reproducción (también puede llamarse ovas, cría o incubación)
- Centro de costos alevinaje
- Centro de costos de levante (también puede llamarse juveniles)
- Centro de utilidad de engorde
- Centro de costos de sacrificio (si lo hay)
- Centro de utilidad de comercialización (si lo hay)

7.3.9. Discriminación de los costos por centro de responsabilidad y/o utilidad

Nota: recuerde que los costos totales de producción pasan al siguiente centro de responsabilidad como costos variables, ya sea en su totalidad o de manera proporcional de acuerdo a los animales que se venden a mercados externos.

CENTRO DE COSTOS (CC) O CENTRO DE RESPONSABILIDAD (CR) CRÍA
(incluya todos los costos de reproductores más los de ovas, larvas y pos-larvas, si aplica)

Item	Costos variables		Costo fijos	
	Valor	% de costos totales/cr	Valor	% de costos totales/centro responsabilidad
Total costo por tipo de costo				
Costo total producción/ centro de responsabilidad	\$ _____	Número total de unidades producidas _____	Costo unitario por unidad producida _____	_____
D			PRODUCIDA	

ANÁLISIS COSTO-VOLUMEN-UTILIDAD

(marque si es por mes _____ o por año)

CENTRO DE RESPONSABILIDAD:	CR1 (de CRÍA o de OVAS)*	CR2 (o de ALEVINAJE)*	CR3 (o de LEVANTE o JUVENILES)*	CR4 (o de PCEBA I y CEBA II)*	CU (Proceso y comercialización)
Tipo de unidades producidas (unidades o kg)					
Número de unidades producidas/CR					
Costo variable total					
Costo variable unitario (CVU)					
Costos fijos totales (CFT)					
Costo fijo unitario					
Costo total por unidad					
Costo total					
Precio de venta unitario (PVU)					
Ingresos totales					
Contribución marginal unitaria (CMU) = PVU - CVU					
Margen de contribución $MC = \frac{CMU}{PVU}$					
Punto de equilibrio (kg o animales) $PE (UNID) = \frac{CFT}{PVU - CVU}$					
Punto de equilibrio (\$) $PE(\$) = \frac{CFT}{MC}$					

7.3.10. Flujo de fondos

Mínimo para un periodo que muestre flujos de fondos estables y se haya pagado la deuda en caso de financiación a crédito.

Ingresos	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año n
+Por ventas										
+ No operativos y desinversiones										
- Costos de producción (sin depreciación, diferidos, ni amortización de activos)										
- Gastos operacionales										
- Depreciaciones y amortizaciones										
- Intereses										
= Utilidad gravable										
- Impuestos (___%)										
= Utilidad después de impuestos (UDI)										
+ Depreciaciones y diferidos										
- Amortización de deudas										
= Flujo neto efectivo										
- Aportes de capital propio										
- Reinversiones										
+ Recuperación de capital de trabajo										
= Flujo totalmente neto (\$)										

7.3.11. Evaluación financiera

Valor presente neto (VPN)

Tasa interna de retorno (TIR)

7.3.12. Análisis de sensibilidad

Equivalencia al análisis de marginalidad asumiendo escenarios críticos como:

- * Riesgos tecnológicos (por ejemplo, mortalidad adicional de 20% en el año 3)
- * Riesgos de formulación (por ejemplo, 25% más de los costos variables en el año 5)
- * Riesgos socioeconómicos (por ejemplo, disminución del 30% en el precio de venta al año 8)

8

Algunos valores productivos y reproductivos de referencia para la programación de una granja piscícola (guía)

8.1. Mortalidad

Mortalidad en tilapia:	
Reversión sexual: especialmente durante los días 12 a 14	15 – 50%
Desde 1 g hasta 15 g	15 – 30%
De 12 g hasta 120 g	10%
De 120 g hasta 300 g	2 – 6%
De 300 g hasta 600 g	2 – 8%

Mortalidad en trucha:

En nuestro medio la mortalidad oscila entre 20 – 35%, repartido de la siguiente manera:

Eclosión 1 mes	5 – 15%
1 mes a 3 meses (3 cm)	4 – 8% primer mes 3 - 4% segundo y tercer mes
3 meses hasta sacrificio	0,5 – 1% por mes

Otro reporte de mortalidad para trucha:	
Fecundación hasta ova embrionada	12%
Ova embrionada	10%
Eclosión hasta postlarva	5%
Postlarva hasta 3 cm	11%
De 3 hasta 6 cm	4%
De 6 hasta 10 cm	3%
De 10 hasta 20 cm	2%
De 20 cm hasta sacrificio	1 – 1,5%

Otro reporte de mortalidad en truchas:	
Eclosión hasta alevinos comiendo	6%
Alevinos comiendo hasta 3 cm	7%
Alevinos de 3 cm hasta 6 cm	3,5%
Alevinos de 6 cm hasta 10 cm	2%
Truchas de 10 cm hasta 20 cm	1,5%
Truchas de 20 cm hasta 30 cm	1%
Truchas de 30 cm en adelante	0,5%

Mortalidad en cachama:	
Desde huevo hasta larva	30 – 60%
Desde larva hasta poslarva	30 – 60%
Desde poslarva hasta alevino	30 – 60%
Alevino hasta inicio de ceba	5 – 10%
Mortalidad en ceba	0,5 – 1%

8.2. Densidad

Tabla 23. Densidades de siembra recomendadas para trucha

Longitud trucha (cm)	Peso trucha* (g)	Canales de cemento		Canales tierra		Canales circulares	
		Anim./m ³	Biomasa (kg/m ³)	Anim./m ³	Biomasa (kg/m ³)	Anim./m ³	Biomasa (kg/m ³)
3	0,4	10.000	4,0	7.500	3,0		
4	0,9	4.000	3,6	3.000	2,7		
5	1,5	2.000	3,0	1.500	2,3		
6	2,9	1.500	4,4	1.125	3,3		
8	5,1	1.000	5,1	750	3,8	1,75	9,00
10	12,0	600	7,2	450	5,4	1,00	12,00
12	22,0	400	8,8	300	6,6		
14	33,2	300	9,9	225	7,5		
16	49,8	300	15,0	200	10,0		
18	72,1	250	18,0	150	10,8		
20	100,0	220	22,0	165	16,5		
22	145,0	180	26,0	135	19,5		
24	172,0	160	27,5	120	20,0		
26	231,0	150	34,6	110	25,4		
28	272,0	140	38,0	100	27,2		
30	354,0	130	46,0	95	33,6		

*La relación longitud peso depende de la variedad o línea de trucha con que se trabaje.

Fuente: Solla S.A. (2006)

Tabla 24. Densidad, peso y duración de fases de vida en tilapia

Estado	Talla	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Duración periodo (días)	Densidad (animales/m ²)	Área estanque o tanque
Huevo	0,2 - 0,4 cm	0	0	3 a 5	Según tipo incubadora	N.A.
Larva	0,4 - 0,6 cm	0	0	3 a 5	100 - 1000	4 - 50 m ²
Poslarva (reversión)	7,9 - 10,5 mm	0	1	28 - 30	100 - 1000	4 - 50 m ²

Estado	Talla	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Duración período (días)	Densidad (animales/m ²)	Área estanque o tanque
Alevino	0,7 - 3 cm	1	6	20	100 – 250 (con aireación)	350 - 800 m ²
					50 - 60 (sin aireación)	
Juvenil o Levante	3 - 7 cm	6	80	70	100 – 150 (con aireación)	350 – 1000 m ²
					20 - 60 (sin aireación)	
Engorde I	7 - 16 cm	80	400	100	80 – 100 (con aireación)	1000 m ²
					20 - 50 (sin aireación)	
Engorde II	16 - 25 cm	400	750	95	50 – 100 (con aireación)	1000 - 1500 m ²
					20 - 30 (sin aireación)	
Engorde I – Engorde II	7 - 25 cm	80 a 450	450 a 1.000	80 a 140	200 – 500 (jaulas)	50 – 80 m ² (tanques biofloc o RAS)
					80 Anim./m ²	

Fuente: recopilación de los autores

Tabla 25. Densidad, peso y duración de fases de vida en cachama

Fase de vida	Densidad (Anim./m ²)	Duración	Peso (g)
Larva y poslarva	1.000	30 días	0,01 – 0,2
Alevino	100 – 200	2 meses	0,2 – 15
Levante	30 - 50	1,5 meses	15 – 150
Engorde	10 – 30	2 meses	150 – 500

Fuente: recopilación de los autores

Tabla 26. Recomendaciones sobre manejo en reversión de larvas de tilapia

Alojamiento	Densidad (Anim./m ²)	% Eficiencia	mg hormona 17 α MT/ kg alimento
Jaula (1mm ojo malla)	500 – 3000	80 – 95	60
Concreto	500 – 2000	93 – 97	30 – 45
Canaleta	500 – 3700	93 – 97	30 – 45
Tierra	200 - 500	75 - 95	60 – 100

Fuente: Solla S.A. (2006)

Nota: esperar entre 14 y 18 días para iniciar la recolección de larvas luego de sembrar machos con hembras. El alimento de reversión se prepara con 60 mg/kg alimento de hormona 17 metil testosterona.

Tabla 27. Caracterización de las etapas de cultivo en tilapias

Etapas	Alevinaje	Pre-engorde	Engorde
Peso promedio peces (g)	1 – 3 hasta 15 - 20	20 hasta 150	150 hasta más de 400
Densidad (peces/m ²)	30 - 50	12	1 – 5
Proteína alimento (%)	40 – 45	30	24
Alimento diario (% de biomasa)	8% al inicio, 4% al final	4% al inicio y 3,5% al final	3% al inicio, 2% al final
Número de comidas día	4 – 6	4	2

Fuente: Merino (2005b)

Tabla 28. Caracterización de las etapas de cultivo en cachamas

Etapas	Levante	Engorde
Peso promedio peces (g)	2 a 60	60 en adelante
Densidad (pez / m ²)	5 – 10	1,5 – 5
% de proteína en el alimento	38 – 45	24 – 32
Alimento diario (% de biomasa)	8% al inicio y 3,6% al final	3,6% al inicio y 1,5 – 2% al final
Número de comidas/día	3 – 4	2

Fuente: Merino (2005a).

8.3. Alimentación

Tabla 29. Tabla de alimentación para truchas con producto extruido por cada 50 kilos de biomasa porcentaje del peso vivo día a suministrar

Peso promedio (g)	Longitud (cm)	Temperatura				
		13°C	14°C	15°C	16°C	17°C
0,5	4	5,14	5,72	6,30	5,72	5,14
1,3	5	4,34	4,82	5,32	4,82	4,34
2,6	6	3,86	4,30	4,72	4,30	3,85
4,6	8	3,22	3,58	3,94	3,58	3,22
7,5	9	3,04	3,38	3,72	3,38	3,03
11,4	10	2,66	2,96	3,26	2,96	2,65
16,4	11	2,58	2,86	3,16	2,86	2,57
22,9	13	2,18	2,58	2,84	2,58	2,31
30,9	14	2,10	2,34	2,58	2,34	2,11
40,5	15	1,82	2,16	2,36	2,16	1,93
52,1	17	1,78	1,98	2,18	1,98	1,78
65,7	18	1,94	2,16	2,36	2,16	1,93
81,0	19	1,70	2,00	2,20	2,00	1,79
98,6	20	1,94	2,14	2,36	2,14	1,93
119,3	22	1,82	2,02	2,22	2,02	1,82
141,7	23	1,72	1,90	2,10	1,90	1,72
168,0	24	1,64	1,80	2,00	1,80	1,63
197,2	26	1,54	1,72	1,90	1,72	1,54
238,7	27	1,48	1,64	1,80	1,64	1,47
266,8	28	1,40	1,56	1,72	1,56	1,40
302,4	30	1,34	1,90	1,64	1,50	1,34
348,9	31	1,36	1,42	1,58	1,42	1,28
378,0	32	1,24	1,36	1,52	1,30	1,24
412,4	34	1,20	1,32	1,46	1,32	1,19
453,6	35	1,16	1,26	1,40	1,26	1,15
504,0	36	1,10	1,22	1,36	1,22	1,11
567,0	38	1,20	1,32	1,48	1,32	1,19
648,0	39	1,16	1,30	1,42	1,30	1,16
756,0	40	1,12	1,24	1,38	1,24	1,11
907,2	41	1,08	1,22	1,32	1,40	1,08

Fuente: Guillaume y colaboradores (2004)

Sugerencia de alimentación en tilapias:

La alimentación en reversión será 10% (si las larvas son capaces de comerse) cada media hora. Se puede iniciar la reversión con 20% hasta completar los 40 mm y luego reducir 1% diario hasta finalizar la reversión.

Quando alcancen los 15 mm	bajar a 8 – 10% de la biomasa
1 – 10 g	8% de la biomasa
10 – 15 g	5% de la biomasa
15 – 20 g	4,5% de la biomasa
20 – 50 g	4% de la biomasa
50 – 150 g	3,5% de la biomasa (cultivo intensivo)
150 – 280 g	3,0% de la biomasa (cultivo intensivo)
280 – 350 g	2,0% de la biomasa (cultivo intensivo)

Tabla 30. Sugerencias de alimentación para cachama

Peso promedio	% Biomasa	núm. de raciones/día
1 – 5	10,0	8
5 – 10	6,0	8
10 – 20	5,5	6
20 – 80	5,0	6
80 – 100	4,0	4
100 – 150	3,0	4
150 – 200	2,5	3
200 – 300	2,0	3

Fuente: Merino (2005a)

Tabla 31. Crecimiento en peso y talla de alimentación de la cachama. Guía para su cultivo semiintensivo con concentrado comercial del 45, 38, 32 y 24% de proteína.

Etapa de crecimiento	Días de cultivo	Peso promedio esperado por ejemplar (g)	Tasa diaria de alimentación (porcentaje de la biomasa)
Levante	7	7	8,9
	14	14	7,6
	28	26	5,5
	42	40	4,6
	56	55	4,1
Engorde	70	91	3,7
	84	139	3,4
	98	190	3,1
	112	246	2,8
	126	305	2,4
	140	368	2,1
	154	433	1,8
168	503	1,7	

Fuente: Solla (2006)

Tabla 32. Tabla de alimentación peces

Especie	Peso (g)	Alimento suministrado % Biomasa
Tilapia	1 – 30	25 – 8
	30 – 100	5 – 4
	100 - TF*	3 – 1,5
Cachama	18.384,0	10 – 4
	60 – 200	3,0
	200 – 350	2,0
	350 – TF	1,5
Trucha	0,4 – 20	2,2 – 9,0
	20 – 120	1,5 – 3,4
	120 TF	0,8 – 2,4

Fuente: Merino (2005a)

8.4. Parámetros reproductivos

Tilapias:	
Alevinos (2 g) / desove/hembra	240
Peso promedio reproductores	350 g
Desoves / año	7
Efectividad reproductores	70 – 80%
Supervivencia huevo –alevino	45 – 65%
Proporción macho/hembra	1:1 a 1:3

Otros autores:

Una hembra de 200 g puede producir 0,5 larvas viables por gramo de peso (Popma y Green, 1990).

Espejo (2001) registra 1,8 larvas/g de peso.

Se espera que por cada gramo de hembra se produzca un huevo (Meyer, 1999).

Una hembra puede producir de 200 a 2.500 huevos = $l \text{ (cm)}^2 \text{ Longitud hembra (cm}^2\text{)}$.

Densidad de reproductores en tilapia:

1,5 – 2 peces/m² y en cultivos intensivos llegan a 3 – 5 ind/m².

Tratar de no exceder 1,0 kg de biomasa/m² ya que un exceso tanto en biomasa como en el número de reproductores puede provocar disminución de la postura.

Los estanques deben tener un área entre 500 y 1.500 m para facilitar la recolección de alevinos y la cosecha.

Cálculo de reproductores de cachama:	
Fertilidad huevos	90%
Eclosión	75%
1 g huevos	1.000 – 1.200
1 l de huevos hidratados	65.000 – 75.000
Efectividad de la hembra	60%
Proporción machos:hembra	2:1
Producción de huevos/hembra	150.000/kg peso

Reproductores de trucha:	
Madurez sexual machos	1 año
Madurez sexual hembras	18 meses de vida
Huevos por kg de hembra	1.500 – 2.000 huevos
Maduración en el trópico	cada 6 – 8 meses
Relación macho/hembra	1:3
Eficiencia reproductoras	85%

9

Glosario

Acuicultura: es la actividad dedicada al cultivo de organismos de origen acuático, sea en medios naturales o artificiales bajo manejo e implementación de buenas prácticas, cuya finalidad es el sustento o el beneficio económico.

ad libitum: con respecto a la alimentación de organismos acuáticos, hace referencia a cuando se ofrece alimento hasta la saciedad.

Alcalinidad: se define como la capacidad de una sustancia para neutralizar ácidos o para aceptar protones. En el agua es representada por las bases que están presentes en esta, entre las cuales se encuentran carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos y algunas sales de ácidos débiles como boratos, silicatos, nitratos y fosfatos.

Alga: nombre genérico otorgado a ciertos organismos, generalmente plantas acuáticas simples, que carecen de tejido vascular y que realizan el proceso fotosintético.

Algas filamentosas: es un grupo de algas unicelulares con células inmóviles, estas crean cadenas de algas formando un filamento por medio de secreciones mucosas.

Amoniaco(NH₃): es el producto de desecho del desdoblamiento de las proteínas.

Anoxia: condición que se presenta en un cuerpo de agua en el que, debido a diferentes procesos biológicos y químicos, no se encuentra oxígeno disponible para los organismos presentes.

Área superficial: superficie de contacto de un cuerpo con un fluido (aire o agua). Entre más pequeña es una partícula más superficie de contacto va a tener esta.

Barrera termoclina: es la estratificación de temperatura que sucede en un cuerpo de agua donde la parte superficial se presenta más caliente y en el fondo se presenta una temperatura mucho menor.

Biomasa: el peso total de los organismos contenidos en un estanque expresado sobre la base del peso de la materia orgánica presente por unidad de área o volumen.

Bloom: fenómeno asociado al fitoplancton cuando hay un incremento en la población de una o más especies, permitiendo a estas especies dominar en la comunidad.

Caudal: es la cantidad de volumen de un fluido durante un tiempo determinado.

Conversión alimenticia: es una medida de productividad en animales definida como la relación entre el alimento que consume con el peso que gana.

Cultivo extensivo: tipo de cultivo que se realiza con muy baja inversión, generalmente en grandes extensiones de agua como lagos y estanques, en el que no existe un control constante sobre los peces y la alimentación va a depender en gran parte de la productividad primaria del cuerpo de agua. Tiene densidades de hasta 1 pez/m² o menos.

Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO₅): es el oxígeno requerido por los organismos en sus procesos metabólicos al consumir la materia orgánica presente en las aguas residuales o naturales. Es afectada por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos presentes y por la cantidad y tipo de elementos nutritivos presentes.

Desnitrificación: proceso de reducción bioquímica del nitrógeno presente en los nitratos (NO₃) por medio del cual este es devuelto a la atmósfera en forma de óxido de nitrógeno (N₂O) o en su forma molecular (N₂).

Detritus: sedimentos finamente divididos de material de origen orgánico e inorgánico que se encuentran suspendidos en la columna de agua.

Diatomeas: categoría de los protistas que reúne las formas con cubiertas externas silíceas de dos secciones. Estos organismos son fotosintetizadores tanto de aguas dulces como de aguas saladas.

Enfermedad de las burbujas: enfermedad producida por una sobresaturación de oxígeno que produce una barrera de burbujas en las branquias que impide la correcta difusión de los gases de la respiración.

Fitoplancton: término usado para denominar a la parte del plancton compuesta de protistas fotosintéticos de gran abundancia en aguas marinas y aguas dulces.

Fotosíntesis: es la serie de reacciones químicas complejas en la que se involucra la energía solar para sintetizar moléculas de alta energía a partir de moléculas de baja energía como el CO₂ y el agua.

Hipoxia: disminución de la concentración habitual de oxígeno en un cuerpo de agua hasta niveles críticos que disminuyen notablemente los parámetros productivos y ponen en riesgo la vida de los organismos presentes en el cuerpo de agua.

Homeostasis: mantenimiento del medio relativamente constante que se requiere para el funcionamiento óptimo de las células, sostenido por la actividad coordinada de numerosos mecanismos reguladores en los que se incluyen el sistema respiratorio, endocrino, circulatorio y excretor.

Larvas: estadio temprano posterior a la eclosión en el cual el animal es incapaz de consumir alimento exógeno y sus necesidades alimenticias son suplidas por la gota lipídica del saco vitelino.

Macrófitas: está constituida por las formas macroscópicas de la vegetación acuática entre las que se pueden encontrar las macroalgas, las pteridofitas (musgos, helechos) adaptadas a la vida acuática y las angiospermas.

Metabolismo: suma de todas las reacciones químicas que ocurren dentro de una sola célula o dentro de todas las células del organismo.

Nitrificación: es el proceso por el cual el amoníaco es oxidado a nitrito y luego a nitrato mediante reacciones bacterianas o químicas.

Osmorregulación: es la forma activa de regular la presión osmótica del medio interno del cuerpo para mantener la homeostasis de los líquidos del cuerpo. Esto evita que el medio interno llegue a estados demasiado diluidos o concentrados.

Oxígeno disuelto: es la cantidad de oxígeno presente en una solución. En acuicultura la cantidad de oxígeno disuelto en el agua se ve afectada por factores como temperatura, salinidad, altitud y fotosíntesis.

pH: es el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno (H) en mili equivalentes. Está expresado en una escala que va desde 1 – 14 siendo 1 el nivel más alto de acidez y 14 el de alcalinidad.

Plancton: se denomina plancton al conjunto de organismos microscópicos que flotan en las aguas saladas o dulces debido a que sus medios natatorios son demasiado débiles para oponer resistencia.

Poiquilotermo: organismos que no regulan su temperatura corporal por lo que su temperatura va a depender de la temperatura del medio en que se encuentran.

Policultivo: hace referencia a la producción de diferentes especies en un mismo cultivo. En el policultivo ideal se utilizan especies cuyo nicho ecológico se encuentra a diferentes niveles de la columna de agua.

Respiración: es el proceso fisiológico por medio del cual los organismos toman el oxígeno disponible en su medio y expelen dióxido de carbono. A nivel celular hace referencia a las reacciones que se llevan a cabo en las mitocondrias que requieren oxígeno para desdoblar las sustancias producto de la glucólisis.

Salinidad: hace referencia al contenido de sales disueltas en un cuerpo de agua, siendo las principales los cloruros, carbonatos y sulfatos.

Turbidez: la turbidez es la expresión de la propiedad óptica que causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta. La turbidez en el agua es producida por la presencia de partículas de sólidos, líquidos o gases orgánicos o inorgánicos suspendidos en la columna de agua.

Zooplancton: es el componente animal del plancton.

10

Referencias bibliográficas

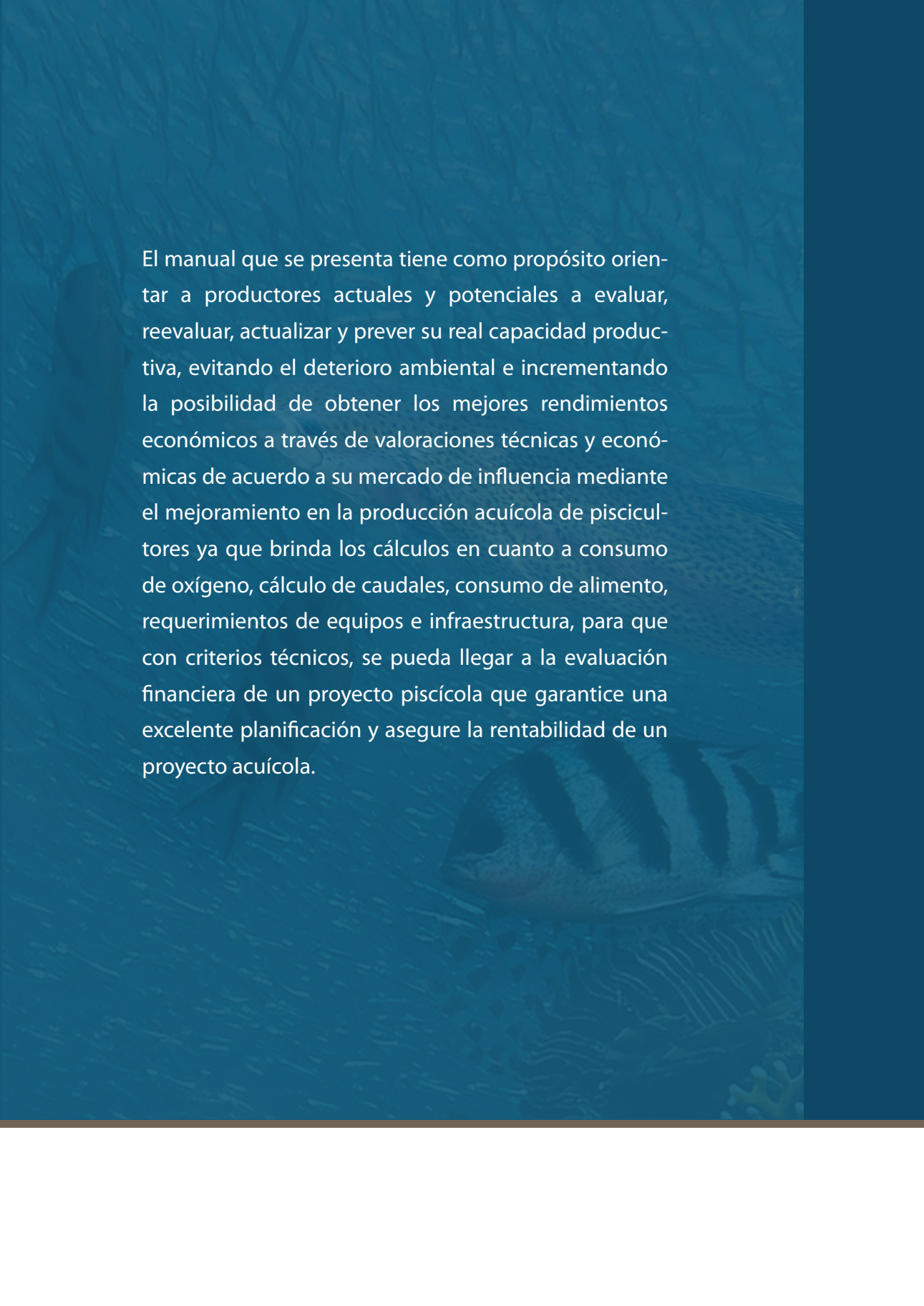
- Allan G. y Maguire G. (1991). Lethal levels of low dissolved oxygen and effects of short-term oxygen stress on subsequent growth of juvenile *P. monodon*. *Aquaculture*. 94: 27-34.
- Álvarez Cardona A. y Sánchez Zapata B.E. (2015). *Formulación y evaluación de proyectos agrarios*. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- APHA. (1983). *Standard methods for the examination of water wastewater*. Washington: APHA, AWWA, WPCF.
- AUNAP. (2014). Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. *Plan nacional para el desarrollo de la acuicultura sostenible en Colombia (PlaNDAS)*. Bogotá: AUNAP-FAO.
- Beveridge C.M. y McAndrew B. (eds). (2000). *Tilapias: Biology and exploitation. Environmental physiology and energetics*. Londres: Kluwer Academic Publishers.
- Blanco Cachafeiro M.C. (1995). *La trucha: cría industrial*. Madrid: Mundi-prensa.
- Bostock J.C. (2009). Use of information technology in aquaculture. En: *New technologies in aquaculture: improving production efficiency, quality and environmental management*. c. 35 (eds Burnell G., Allan G.); Cambridge, UK: Woodhead Publishing.

- Boyd C.E. (1990). *Water quality in ponds for aquaculture*. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University.
- Boyd C.E. (1990b). *Water quality in warmwater fish ponds*. Agricultural Experiment Station. Opelika, Alabama, USA: Auburn University.
- Boyd C.E. y Tucker C.S. (1998). *Pond Aquaculture Water Quality Management*. Springer.
- Brown J., Wickins J. y MacLean M. (1991). The effect of water hardness on growth and carapace mineralization of juvenile freshwater prawns, *Macrobrachium rosenbergii* de Man. *Aquaculture* 95: 329 – 345.
- Burtle G. Oxygen depletion in ponds. (2014). The University of Georgia. College of Agricultural and Environmental Sciences. Cooperative Extension Service. Original article Lewis G.W., Revised May 2014.
- Buttner K.J., Soderberg W.R. y Terlizzi E.D. (1993). An introduction to water chemistry in freshwater aquaculture. [Monografía en Internet]. University of Massachusetts. NRAC Fact Sheet núm. 170.
- Cho C.Y. (1992). Feeding systems for rainbow trout and other salmonids with reference to current estimates of energy and protein requirements. *Aquaculture* 100: 107-123.
- Coche A.G. y Van der Wal H. (1998). *Métodos sencillos para la acuicultura: agua para la piscicultura de agua dulce*. Roma: FAO.
- Corantioquia Actúa y Centro Nacional de Producción Más Limpia (CNPML). (2016). Manual de producción y consumo sostenible: gestión del recurso hídrico.
- Cunningham J. y Klein B. (2009). *Fisiología veterinaria*. Madrid: Elsevier Saunders. 4ta edición.
- Espejo C. (2001). *Fundamentos de Acuicultura Continental. Cultivo de las tilapias rojas*. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-INPA.
- Espinal C., Martínez C.H.J. y Rodríguez G.F.A. La cadena de la piscicultura en Colombia: una mirada global de su estructura y dinámica. Documento de trabajo no. 72. Agro cadenas.
- FAO. (2014) *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2014*. Roma: FAO. <http://www.fao.org/3/a-i3720e.pdf>
- Gandhi K.T. (2012). A study of water quality parameters to better manage our ponds or lakes. *Int J Late Res Sci Technol*, 1:359-363.
- García S.A., Castejón M.F., Cruz P.L.F., González G.J., Murillo L.M.D. y Salindo R.G. (1996). *Fisiología veterinaria*. Madrid: McGraw Hill Interamericana.

- Guerra F.H., Alcantara B.F. y Campos A.L. (2015). *Piscicultura amazónica con especies nativas*. https://guzlop-editoras.com/web_des/agri01/amazonica%20paiche/pld1832.pdf
- Guillaume J., Kaushik S., Bergot P. y Métailler R. (2004). *Nutrición y alimentación de peces y crustáceos*. Madrid: Mundi- prensa.
- Hargreaves A.J. y Tucker C.S. (2002). Measuring dissolved oxygen concentration in aquaculture. *Southern Regional Aquaculture Center (SRAC)*. Publication 4601: 1-6.
- Haskell D.C. (1955). Weight for fish per cubic foot of water in hatchery trough and ponds. *Prog. Fish-Cult*, 17(3): 117-118.
- Hepher B. (1991). *Cultivo de peces comerciales: basados en las experiencias de las granjas piscícolas de Israel*. México: Limusa.
- Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM). Atlas interactivo – climatológico. Última actualización: 2014. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>.
- Jover M., Martínez S., Tomás A. y Pérez L. (2003). Propuesta metodológica para el diseño de instalaciones piscícolas. [Monografía en Internet]. *Rev AquaTIC*, 19: 17-26. http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/2201/19_3.pdf
- Jover M. (2000). Estimación del crecimiento, tasa de alimentación y producción de desechos en piscicultura mediante un modelo bioenergético. [Monografía en Internet]. *Rev AquaTIC* 9:1-11 <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/html/art906/desechos.htm>
- Jover M. y Pérez L. (1996). *Acuicultura: bases biológicas, ingeniería y diseño de instalaciones*. Madrid: Ed. Servicio Publicaciones Universidad Politécnica (SPUPV-96.1005).
- Kormanik G.A. y Cameron J.N. (1981). Ammonia excretion in animals that breathe water: a review. *Mar Biol Lett* 2:11-23.
- Konikoff M. Toxicity of nitrite to channel catfish. (1975). *Progressive Fish-Culturist* 37: 96-98.
- Liao P.B. (1971) Water Requirements of Salmonids, *The Progressive Fish-Culturist*, 33:4, 210-215, DOI: 10.1577/1548-8640(1971)33[210:WROS]2.0.CO;2
- Lim C. y Webster D.C. (2002). *Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture*. New York: CABI International.
- Lim C. y Webster D.C. (2006). *Tilapia biology, culture, and nutrition*. New York: CRC Press.
- Maguire G.B. y Allan G.L. (ed.) (1991). *Proceedings of the Aquaculture Nutrition Workshop, Salamander Bay, 15-17 April 1991*. Salamander Bay, N.S.W.: NSW Fisheries, Brackish Water Fish Culture Research Station

- Meade J. (1989). *Aquaculture management*. New York: AVI Book.
- Merino M.C. (2005a). *El cultivo de las cachamas blanca (Piaractus brachyomus) y negra (Colossoma macropomum)*. [Cartilla] Bogotá: INCODER.
- Merino M.C. (2005b). *El cultivo de las tilapias rojas (Oreochromis spp.) y plateadas (Oreochromis niloticus)*. [Cartilla] Bogotá: INCODER.
- Naylor R.L., Goldburg R.J., Primavera J.H., Kautsky N., Beveridge M.C. y Clay J. (2000). Troell M. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, 405(6790): 1017-1024.
- Orozco J.J. (1990). *Estudio de crecimiento y de producción de la cachama negra (Colossoma macropomum) y la cachama blanca (Colossoma bidens) a densidades altas en tanques y jaulas flotantes*. Medellín: Lieja.
- Pardo-Carrasco S., Muñoz-Ramírez A.P., Atencio-García V.J. y Bonilla S.P. (2018). *Aquaculture in Colombia*. World Aquaculture.
- Ramírez A. y Viña G. (1998). *Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis*. Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Roldán-Pérez G. y Ramírez-Restrepo J.J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Medellín: Universidad de Antioquia. 440 p. 2ª ed.
- Ross B. y Ross L.G. (1983). The oxygen requirements of *Oreochromis niloticus* under adverse conditions. En: Fishelson y Yaron (ed.). *Proceedings of the first International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. Tel Aviv (Israel).
- Sastre O.F., Hernández G. y Cruz Casallas P. (2004). Influencia del peso corporal y de la temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de la cachama blanca (*Piaractus brachyomus*). *Rev Col Cienc Pec*. 17 (4): 11-16.
- Segerer C.D. y Villodas R. (2008). *Hidrología 6. Evaporación, transpiración y evapotranspiración*. Mendoza: Universidad Nacional de Cuyo (Facultad de Ingeniería. Ingeniería Civil). https://www.academia.edu/36851515/Hidrologia_I_y_II_Ruben_Villodas
- Stickney R.R. (2009). *Aquaculture an introductory text*. Cambridge: CABI Publishing. 2a ed.
- Stickney R.R. (1979). *Principles of warmwater aquaculture*. Estados Unidos: John Wiley & Sons.
- Summerfelt R.C. (2000). *Water Quality Considerations for Aquaculture*. Department of Animal Ecology, Iowa State University, Ames, USA.
- Swann L.D. (1997). *A fish farmer's guide to understanding water quality*. Purdue University. Department of Animal Sciences Illinois-Indiana Sea Grant Program. Aquaculture Network Information Center.

- Valbuena R.D. y Cruz-Casallas P.E. (2006). Efecto del peso corporal y temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de tilapia roja (*Oreochromis sp*). *Orinoquía* 10(1): 57-66
- Vinatea A.L. (2004). *Princípios químicos de qualidade da água em aqüicultura: Uma revisão para peixes e camarões*. Florianópolis-Brasil: EDUFSC. 365 p.
- Wheaton F.W. (1982). *Acuicultura: diseño y construcción de sistemas*. México: A.G.T. 704 p.
- Yasou I. (1971). An estimation of the minimum of dissolved oxygen in water required for the normal life of fish. *Bulletin of Japanese Society of Scientific fisheries*. 37(4): 73-276.
- Zhang C. Yu Z., Zeng G., Jiang M., Yang Z., Cui F., Zhu M., Shen L. y Hu L. (2014). Effects of sediment geochemical properties on heavy metal bioavailability. *Environ. Int.*, 73: 270–281.

The background of the page is a deep blue color with a faint, artistic illustration of a striped fish, possibly a surgeonfish, swimming towards the right. The fish's stripes are dark and vertical, contrasting with the lighter blue of its body. The overall aesthetic is clean and professional, suitable for a technical manual.

El manual que se presenta tiene como propósito orientar a productores actuales y potenciales a evaluar, reevaluar, actualizar y prever su real capacidad productiva, evitando el deterioro ambiental e incrementando la posibilidad de obtener los mejores rendimientos económicos a través de valoraciones técnicas y económicas de acuerdo a su mercado de influencia mediante el mejoramiento en la producción acuícola de piscicultores ya que brinda los cálculos en cuanto a consumo de oxígeno, cálculo de caudales, consumo de alimento, requerimientos de equipos e infraestructura, para que con criterios técnicos, se pueda llegar a la evaluación financiera de un proyecto piscícola que garantice una excelente planificación y asegure la rentabilidad de un proyecto acuícola.