

Tercera Edición Tomo 1

FUNDAMENTOS DE ACUICULTURA CONTINENTAL

FUNDAMENTOS DE ACUICULTURA CONTINENTAL

Tercera Edición
Tomo 1

Editores:
Piedad Victoria Daza
Miguel Landines Parra

www.aunap.gov.co



El campo
es de todos

Minagricultura



AUNAP
AUTORIDAD NACIONAL
DE ACUICULTURA Y PESCA

FUNDAMENTOS DE ACUICULTURA CONTINENTAL

TERCERA EDICIÓN

TOMO I

**BOGOTÁ D.C.
2019**

AUTORIDAD NACIONAL DE ACUICULTURA Y PESCA

ANDRÉS VALENCIA PINZÓN
MINISTRO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

NICOLÁS DEL CASTILLO PIEDRAHITA
DIRECTOR GENERAL

DANIEL ARIZA HEREDIA
SECRETARIO GENERAL

MARÍA ROSA ANGARITA PEÑARANDA
JEFE OFICINA DE GENERACIÓN DEL CONOCIMIENTO Y LA INFORMACIÓN

JHON JAIRO RESTREPO ARENAS
DIRECTOR TÉCNICO DE ADMINISTRACIÓN Y FOMENTO

NELCY ESTHER VILLA ESTARITA
DIRECTORA TÉCNICA DE INSPECCIÓN Y VIGILANCIA

EDITORES

PIEDAD VICTORIA DAZA
PROFESIONAL ESPECIALIZADA
DIRECCIÓN TÉCNICA DE ADMINISTRACIÓN Y FOMENTO
AUTORIDAD NACIONAL DE ACUICULTURA Y PESCA

MIGUEL ANGEL LANDINES PARRA
PROFESOR ASOCIADO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y DE ZOOTECNIA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

ISBN VERSIÓN IMPRESA
978-958-9001-02-8

ISBN VERSIÓN DIGITAL
978-958-9001-03-5

FOTO DE PORTADA
MIGUEL ANGEL LANDINES PARRA

DIAGRAMACIÓN
WWW.COMSILA.COM

IMPRESIÓN
WWW.COMSILA.COM

La información presentada en este documento es responsabilidad exclusiva de los autores y no compromete la posición general de la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca - AUNAP -

NOTA DE LOS EDITORES

La serie Fundamentos de Acuicultura Continental se creó en el año 1993 como una iniciativa del Biólogo Marino, Horacio Rodríguez Gómez, profesional que contó con el respaldo del extinto Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INPA). Dado el éxito obtenido con esta edición y los 4000 ejemplares impresos que se distribuyeron tanto a nivel nacional como internacional, Horacio emprendió nuevamente la ardua tarea de liderar, como coeditor y coautor, la segunda edición de este título, la cual se imprimió en el año 2001, contando nuevamente con el respaldo de un equipo de profesionales colombianos reconocidos y con gran trayectoria en cada uno de los temas que conformaron la Segunda Edición.

Transcurrieron varios años hasta que el Biólogo Marino Hermes Orlando Mojica Benítez emprendió como iniciativa propia la difícil misión de retomar el gran legado de su gran amigo y colega

Horacio y realizar un homenaje póstumo en la Tercera Edición del libro de Fundamentos de Acuicultura Continental, misión que afortunadamente contó con el respaldo de la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca – AUNAP-.

Pero Hermes partió antes de ver culminada esta meta, por lo cual sus amigos y compañeros de la Oficina de Generación del Conocimiento y la Información (OGCI) de la AUNAP, Vianys Agudelo y Wilberto Angulo, entre otros, y la actual Jefe de Oficina, María Rosa Angarita, defendieron desde la vigencia anterior, los recursos requeridos para la impresión de esta Tercera Edición, para lo cual nos convocaron como Editores y hoy tenemos la gran satisfacción y honor de cumplir con el compromiso asumido para la entrega de esta gran contribución técnica, la cual se realizará en dos tomos debido a la extensión del texto.

IN MEMORIAM
HERMES ORLANDO MOJICA BENÍTEZ



Indudablemente, Hermes Mojica, Biólogo Marino, marcó la vida de mucha gente. Un tipo literalmente inmenso, de manos grandes siempre llenas de cosas para dar. Creo que quienes trabajamos alguna vez con él nunca sabremos de dónde sacaba tanta risa y tanta agudeza para celebrar las cosas sencillas de la vida en medio de las condiciones más difíciles. Tal vez su crianza en los campos de Boyacá y Casanare le dieron las herramientas precisas que necesita alguien que decide entregarse a la naturaleza y a la gente. Conectarse con ella para llevar sus mensajes de esperanza y abrirle los ojos en el sentido de que la vida es otra cosa, que lo que la naturaleza brinda es más de lo que siempre nos hemos acostumbrado a ver.

Con su empaque de casi dos metros, su alma de niño era indudablemente visible. Le permitió ver con ojos de asombro cada rincón del planeta por donde trasegó sembrando en la empresa privada y con el Estado. Su mundo era la gente, su valor, la solidaridad y la entrega, su herramienta la calidez y la risa.

Su calidad humana fue el arma más poderosa que tuvo para defender sus intereses, entendidos estos como su familia, su esposa y sus hijas, pero además su familia más grande que era el sector de la acuicultura en Colombia. Su trabajo rebasó lo simplemente institucional, para adentrarse en aportar a la problemática nacional del campo desde la óptica de un hombre de mundo, con conocimiento académico, investigativo, empírico y práctico, pero con el sentir del hombre campesino, que siempre llevó su llano en el corazón.

Desde sus épocas de estudiante en la Universidad Jorge Tadeo Lozano fue alguien muy destacado. Pronto se unió al sector público, al cual años después renunciaría para emprender proyectos privados y retornaría luego a lo que más le apasionó en la vida que fue recorrer Colombia entera llevando su inmenso bagaje de experiencias recogidas a lo largo de sus actividades, con el único fin de compartirlas con quien más las necesitaba.

Extrañaremos por siempre su buen ánimo para ayudar, para enseñar, para proyectar, para tener la compasión y el respeto que siempre tuvo con cada ser humano que pasó por su existencia y que fuimos tierra fértil para jamás olvidarlo como amigo y maestro de la vida.

Una institución es más que un nombre, y la AUNAP es y ha sido siempre un grupo de amigos luchando por el ideal de una actividad hermosa que tiene que ver con el agua y la vida. Este grupo de amigos, conservará sagradamente su memoria, porque Hermes Mojica Benítez dejó marcado su lugar destacado como miembro del equipo.

Este documento, es uno de esos frutos y es un honor compartirlo con el país, sabiendo que los aportes de nuestro amigo y hermano, permanecerán en la memoria de quien lea sus páginas y lleve a la realidad sus proyectos.

Enrique Torres Quevedo

No es difícil escribir sobre Orlando - como algunos le llamábamos - o simplemente Hermes para la mayoría, aun cuando sí nos resulta increíble su partida. Quienes compartimos con él reconocemos su don de gente, calidez, lealtad como amigo, profesionalismo y compromiso con el trabajo; se podría definir como un *Llanero recio con corazón de pollito*.

Hace tanto tiempo que conocimos a Hermes que ya ni recordamos cuándo fue; fuimos testigos de su amor sin límites para su esposa, hijas, madre, hermanas y para el resto de su familia.

Recordamos su llegada a Villavicencio en la época del INPA, a la Estación Piscícola La Terraza, después apodada por sus amigos – discípulos como “La Terraza Resort”, por la calidez, amistad, camaradería y compromiso con que allí se trabajaba, con Hermes como líder de un grupo que llegó a ser como su familia, entre los cuales estábamos nosotros y cuyos resultados fueron grandes aportes a la piscicultura del país, los mismos que hoy en día siguen vigentes.

Con la liquidación del INPA, Hermes decidió tomar nuevos rumbos en el sector privado, época en la cual contribuyó en gran medida con el crecimiento de la piscicultura en los Llanos Orientales y, sobre todo, con el fortalecimiento de algunas asociaciones de piscicultores, particularmente algunas de mujeres, agrupaciones que hoy siguen agradecidas por el apoyo y enseñanzas que él les ofreció.

Pero el buen hijo vuelve a casa y, para fortuna de todos, Hermes volvió al INCODER y, posteriormente, a la AUNAP, para seguir aportándonos sus conocimientos, sus ideas, sus propuestas positivas y constructivas para mejorar la pesca y la acuicultura del país y, en tal sentido, contribuyó en gran medida en la construcción del Plan Nacional para el Desarrollo de la Acuicultura Sostenible del País – PlaNDAS, considerado hoy la Política en Acuicultura.

Hoy sentimos un gran vacío y profunda tristeza con la pronta e inesperada partida de nuestro amigo, quien nos deja un gran ejemplo a seguir y un compromiso por mantener su legado.

Gracias Hermes por tu amistad, por tus enseñanzas y por todos tus aportes al sector.

Siempre estarás en nuestros corazones.

María Claudia Merino y Ricardo González Alarcón

IN MEMORIAM
HORACIO RODRÍGUEZ GÓMEZ



Sea esta la oportunidad para que demos un gran reconocimiento póstumo a un apreciado colega, que por muchos años nos honró con su amistad y lealtad hacia causas comunes, en el ambiente de trabajo y de intercambio de opiniones profesionales, que siempre enriquecieron nuestros pensamientos, ganando mucho conocimiento con su experiencia y con sus sabias enseñanzas.

Horacio Rodríguez Gómez, Biólogo Marino 1951 – 2013, Q.E.P.D, fue una persona que como profesional, contribuyó mucho al desarrollo de la acuicultura en Colombia, fue un inquieto investigador, un excelente funcionario al servicio de su país y con un profundo compromiso de llevar a cabo la actividad para el bienestar de la población colombiana, en cuanto a investigar y fomentar la acuicultura continental y marina a nivel de pequeño, mediano y gran productor, la cual les generó alimento e ingresos y que se constituye en un importante componente de la seguridad alimentaria que ayuda a la población campesina y pescadora del país, por quienes guardaba una gran consideración y respeto.

Con su gran capacidad de trabajo y su agudo sentido del servicio, tuvo a bien la idea de crear la serie de “Fundamentos de Acuicultura” en Colombia, de las cuales se promovieron inicialmente tres ediciones cuando trabajaba con el INPA, en temas como los “Fundamentos de la acuicultura continental”, “Fundamentos de la acuicultura marina” y “Fundamentos de nutrición y alimentación en acuicultura”, publicaciones que realizó en conjunto con sus colegas y otros profesionales del área. Su dedicación a las ciencias naturales lo llevó a realizar escritos en diversos temas, tales como la “espeleología” en Colombia, específicamente en el departamento de Santander, publicación que no alcanzó a terminar y poner al servicio de la comunidad científica y del público en general.

En el área de la acuicultura continental, fue Jefe de la División de Acuicultura delINDERENA y posteriormente en el INPA, Jefe de la División de investigaciones de Acuicultura, en las que desarrolló un gran trabajo, coordinando las actividades inherentes al desarrollo de la acuicultura en oficinas y estaciones de acuicultura institucionales a nivel continental y marino.

Fue uno de los promotores de la investigación y el desarrollo del cultivo de la ostra en Colombia, en compañía de otros colegas y profesionales del área, validando la tecnología para el país con base en la experiencia y apoyo de expertos cubanos en el tema y como resultado de ello se montaron proyectos exitosos en la Bahía de Cispatá, Caribe colombiano a finales de la década del 90 y comienzos del 2000, dejando por escrito el libro sobre “Cultivo de la ostra en Colombia”, en conjunto con otros colegas y profesionales del sector. En acuicultura marina, específicamente en el Pacífico colombiano, inició la construcción de la Estación de Acuicultura Marina de Bahía Málaga, en conjunto con el biólogo Juan Valverde Pretelt, Q.E.P.D. y el Arquitecto Octavio Bernal, Q.E.P.D, en la que se iniciaron los trabajos sobre la reproducción del pargo lunarejo.

Hijo de Horacio Rodríguez Plata, connotado escritor, historiador y político prestante del país en los años 50, quien dejó como uno de sus legados la Casa de la Cultura del Socorro (Santander), que en conjunto con sus hermanos lideraron durante varios años y de allí su dedicación especial a este histórico departamento, en el que bajo su dirección en la División de Acuicultura delINDERENA en su momento, tuvo a bien apoyar el funcionamiento de tres estaciones de acuicultura del departamento, para contribuir al desarrollo de la acuicultura en los departamentos de Santander, Boyacá, Cesar y Norte de Santander.

Fue una excelente persona, un ser muy humanitario, constituyó un hogar y conformó su familia en la ciudad de Bogotá, junto a su esposa Marta Escallón, con quien tuvo dos hijos: Andrés, conservador restaurador de bienes muebles y Horacio, médico. Su partida temprana dejó un vacío muy grande en el quehacer científico nacional, fue una persona muy estimada por sus colegas y por las personas del sector de la acuicultura, al que le dedicó la mayor parte de su vida, aunque trabajó también en muchos

temas ambientales, de conservación de nuestras riquezas naturales, biodiversidad y patrimonio biológico marino y continental.

Tuvo grandes inclinaciones hacia la cocina nacional e internacional, enfatizando mucho en la comida de mar y lo llevó a crear un grupo con sus amigos y algunos colegas que denominó “los caballeros de la buena mesa”, con quienes se reunía en tertulias en las que nunca faltaba abordar los temas inherentes al desarrollo de la acuicultura en Colombia y la institucionalidad, aparte de que se trataban temas científicos, históricos y culturales, entre otros.

Inició su trabajo institucional en torno a la acuicultura con las entidades públicas del país como el INDERENA, que dio origen al INPA y cuando se creó el INCODER, lamentablemente el INPA fue liquidado y transferido a esta nueva entidad; allí renunció a su cargo institucional y comenzó a desarrollar labores de consultoría con entes nacionales e internacionales, en temas medioambientales, principalmente. De este amigo y colega, que hoy recordamos con eterna gratitud, siempre nos llevaremos su amistad, enseñanzas e integridad, así como la constancia y la paciencia para culminar los trabajos, que lo hicieron merecedor de una gran admiración profesional y personal por parte de quienes lo conocimos y fuimos sus colegas y amigos.

Gustavo Salazar Ariza

Que tan difícil es escribir sobre un amigo cuando ya no nos acompaña en esta nave espacial que es el planeta tierra; los recursos se aglomeran y la necesidad de buscar las cosas gratas que nos dejó y el vacío que se siente por su temprana partida.

Pero para los biólogos la manera perfecta de recordar su existencia es reintegrándolo a la naturaleza y recordar que Horacio fue un enamorado perfecto de ese extraordinario, majestuoso, peligroso y encantador océano, siempre su mente estuvo fija en conocer más sobre los enigmas de la naturaleza, en especial sobre la posibilidad de entrar en ese intrincado mundo del dominio de Poseidón y robarle parte de sus secretos para ajustarse a la reducida élite de los científicos que tratan de entender el porqué de su existencia. Es así como mejor recuerdo a mi amigo Horacio, un buscador incasable de lo desconocido, un fanático perfeccionista de la malacología y aunque los caminos de la vida lo llevaron hacia la acuicultura, nunca abandonó sus ansias de conocimiento de la biología marina.

Recuerdo muy sentidamente mi primer contacto con él, yo era un novato en la profesión y él me invitó a participar en la Segunda Expedición Botánica, de la cual era un miembro activo, aunque nunca pudimos concretar todas nuestras ambiciones por direccionar nuestro conocimiento para que este magnífico programa pudiese ser una continuación de la admirable tarea propuesta por Mutis.

Siempre que pienso en Horacio, recuerdo nuestras caminatas de la oficina a la casa cuando ya la tarde languidecía en el ocaso, nuestros temas eran muy variados desde lo meramente científico hasta los detalles superfluos del devenir de la vida; siempre tuvo una frase picaresca para referirse a la cruda realidad y de él aprendí a tomar la vida con el romanticismo y la poca seriedad que merece la dureza de nuestros destinos.

Pero quizá nuestra relación más cercana ocurre cuando Horacio decide tomar un camino diferente al de la vida laboral con el Estado y se dedica a la consultoría, con una valiente actitud de dejar una estancia firme de un trabajo fijo por la aventura de la vida privada, es aquí cuando toma la decisión de trabajar en pesca, área hacia la cual nunca sintió una posición cercana, pero que como un profesional integro optó como alternativa. Nuestra amistad se fortaleció y ambos aprendimos a viajar por el camino de lo desconocido, él en un tema del cual no era experto, con esto aprendí de él que para enfrentar la vida sólo hay que tener voluntad para salir adelante, pero que lo más importante es encontrar al amigo exacto en el momento adecuado.

Es muy difícil resumir la existencia de un amigo en pocas palabras, porque son muchos los logros personales y profesionales que pueden quedar por fuera, así que meditando una frase que resume lo que fue Horacio para las personas que lo conocimos, puedo decir que se fue el maestro de la tenacidad, desde la ejecución de libro fundamentos de acuicultura hasta su frustrada idea de realizar un catálogo de organismos de interés para la pesca. Siempre insistiendo en ayudarse y ayudar a sus amigos.

Carlos G. Barreto Reyes

PRÓLOGO

Históricamente en Colombia se ha fomentado el aprovechamiento de especies para la acuicultura, tanto nativas como foráneas, en el contexto de un marcado interés por las especies continentales y consecuentemente, por sus procesos de mejoramiento genético, desarrollo de sus paquetes tecnológicos, búsqueda de optimización de sus parámetros productivos y el desarrollo y refinamiento de las técnicas para su cultivo. La Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca-AUNAP, con apoyo de múltiples cooperantes, ha tenido un importante papel de liderazgo en la materialización de dicho interés en iniciativas y proyectos concretos. Lo que ha caracterizado estos últimos, ha sido que todos buscan generar información con la que puedan contar actores interesados en solucionar las demandas que presenta el sector, especialmente conocimientos específicos sobre los componentes críticos de la acuicultura continental.

Es crucial resaltar que estas tendencias corresponden al pleno entendimiento por parte de la entidad, sus cooperantes y los acuicultores del país, de que este es el sector de la producción de alimentos con el mayor crecimiento anual. Específicamente para Colombia, en 2018 se produjeron 129,410 toneladas de productos derivados, un 8% más que la cifra del año anterior y el doble de lo que se producía hace 10 años.

Esto a su vez, está dado en una coyuntura en la que las especies de aguas continentales representan la mayor parte de la producción y en la que ha surgido una conciencia sectorial sobre el hecho incontrovertible de que la actividad pesquera, que también genera productos derivados de la fauna hidrobiológica, presenta una tendencia hacia la estabilización que ha persistido en las últimas décadas y que se manifiesta como una disminución de los volúmenes de captura obtenidos, aun cuando el esfuerzo pesquero ha aumentado.

Dados los contextos particulares del mundo actual, revertir dicha tendencia no parece estar dentro del alcance de actores relevantes a pesar de que se desarrollen procesos de ordenación eficientes. La pesca además se ha encontrado cada vez más asociada a la sobreexplotación de los recursos produciendo impactos negativos, debiendo ser su línea de acción, la sostenibilidad.

Ante lo anterior, la acuicultura se presenta como la actividad apropiada para proveer de productos alimenticios a una población en constante crecimiento. Adicionalmente, los actores mencionados anteriormente han encontrado en la acuicultura ventajas importantes dadas por algunas condiciones de la actividad que conducen a que estos tengan una demanda constante y se puedan producir a costos relativamente bajos. Esto está reforzado por mejoramientos en protocolos de bioseguridad y el consecuente ofrecimiento de alimentos que simultáneamente tienen alta calidad nutricional y buen grado de inocuidad, lo cual ha permitido extender la oferta considerablemente.

Sin embargo, persisten retos relacionados con los costos de producción, especialmente la alimentación, el transporte y la energía, lo cual se suma a la necesidad de adquirir permisos institucionales y a que la disponibilidad de semilla de alta calidad no es lo suficientemente alta y los programas de genética para asegurar la competitividad son una realidad para poder garantizar la permanencia.

Todos estos retos han llevado a que la AUNAP, haya planeado una serie de proyectos en acuicultura, tratando las distintas temáticas contenidas en este libro. El hilo conductor de estos esfuerzos es la disposición de la entidad para utilizar sus recursos técnicos, financieros, logísticos, administrativos, de la forma más eficiente posible, es decir, estableciendo alianzas estratégicas con sectores académicos y productivos, con el fin último de proveer insumos científicos en materia de calidad de semilla, mejoramiento de parámetros productivos y técnicas asociadas a una mejor producción. Es así como se llega a la recopilación de contenidos relevantes para este libro.

En este, se presentan avances recientes y conocimientos de acuicultura. De manera más específica, se abordan temas como la calidad del agua en la acuicultura, incluyendo su origen y sus aspectos físicos en el contexto de la producción. También se discuten aspectos nutricionales y de alimentación, con especial atención a la relevancia que esta tiene en términos de reducir los impactos ambientales de la actividad, además, se tratan individualmente los temas de bioseguridad, reproducción, así como particularidades de los cultivos más extendidos en Colombia que son la tilapia, la cachama y la trucha, así como también de varias especies nativas promisorias.

Desde la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca, expresamos gran gratitud y reconocimiento a los investigadores que han participado en la producción de estos insumos, entendemos que esta es una tarea continua y confiamos en que serán de gran ayuda para todos los actores involucrados en el sector.

NICOLÁS IGNACIO DEL CASTILLO PIEDRAHITA
DIRECTOR GENERAL DE LA AUTORIDAD NACIONAL DE ACUICULTURA Y PESCA

ÍNDICE

DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE ACUICULTURA GUSTAVO SALAZAR ARIZA	15
Introducción	15
Estado actual	17
Ventajas de la acuicultura	19
Referencias	21
 CAPÍTULO 2. CALIDAD DEL AGUA EN ACUICULTURA JAIME FERNANDO GONZÁLEZ MANTILLA	23
Introducción	23
Fuentes de abastecimiento de agua en los sistemas piscícolas.....	23
Principales variables físico-químicas y contaminantes del agua	24
Temperatura.....	25
Concentración de oxígeno disuelto	26
Concentración de dióxido de carbono (CO ₂)	28
Potencial de hidrogeniones - pH	28
Amoníaco/Amonio, Nitrito y Nitrato	29
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	31
Sólidos Disueltos (SDT) y Sólidos Suspendedos Totales (SST); Turbidez, Conductividad y Salinidad	32
Alcalinidad.....	32
Dureza.....	33
Contaminantes químicos del agua	33
Métodos de análisis, monitoreo e interpretación de resultados de la CA.....	34
Métodos de análisis de CA	34
Monitoreo e interpretación de resultados de CA.....	36
Medidas correctivas de la calidad del agua y manejo de vertimientos.....	38
Medidas correctivas.....	38
Manejo de vertimientos y efluentes.....	40
Referencias	42
 CAPÍTULO 3. NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN EN ACUICULTURA DIEGO ALBERTO RODRÍGUEZ AVELLA	45
Introducción	45
Nutrición y Fisiología Digestiva.....	46
Requerimientos de Nutrientes.....	51
Proteína.....	51
Energía.....	52
Lípidos.....	52
Carbohidratos.....	53
Vitaminas.....	53
Minerales.....	56
Materias Primas, Formulación y Procesamiento de Dietas Comerciales.....	64
Formulación de Alimentos Amigables con el Medio Ambiente.....	70
Digestibilidad de Nutrientes.....	71
Procesamiento del Alimento para Peces.....	73
Alimentación de Peces de Cultivo.....	74
Crecimiento.....	78
Medición de la Eficiencia de la Alimentación.....	80
Manejo del Alimento.....	81
Cuidados Durante el Transporte.....	81
Cuidados en el Almacenamiento.....	81
Referencias	83

CAPÍTULO 4. BIOSEGURIDAD EN ACUICULTURA MARGY ALIETHE VILLANUEVA SOTO	87
Introducción	87
Bioseguridad	88
¿Por qué se debe implementar la Bioseguridad?.....	88
Niveles de Bioseguridad.....	90
Plan de Bioseguridad.....	90
Información geográfica.....	91
Información de las fuentes de Agua.....	92
Información de la población.....	92
Sistema de producción.....	93
Movimiento de animales.....	94
Movimiento de personas y vehículos.....	94
Alimentación.....	95
Vigilancia de salud animal.....	96
Tratamientos.....	96
La Cuarentena como medida de gestión sanitaria para evitar el ingreso y diseminación de enfermedades.....	97
Manejo de la mortalidad.....	99
Control de plagas, vectores, fauna silvestre y doméstica.....	99
Procedimiento escrito de limpieza y desinfección.....	100
Registros.....	100
Programa de entrenamiento de Personal.....	101
Evaluación de los planes de bioseguridad.....	101
Plan de bioseguridad al nivel local (municipio, zona, departamento).....	101
Plan de bioseguridad al nivel país	101
Conclusiones	102
Referencias	103
 CAPÍTULO 5. BASES DE LA REPRODUCCIÓN Y PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE PECES MIGUEL ÁNGEL LANDINES, JOSÉ ARIEL RODRÍGUEZ PULIDO Y MÓNICA T. NIETO-VERA.....	105
Introducción	105
Mecanismos Reproductivos de los Peces	106
Anatomía Macroscópica de las Gónadas en Teleósteos	106
Testículo.....	107
Ovario.....	107
Desarrollo de los Productos Sexuales	108
Ovogénesis.....	108
Transformación de las oogonias en oocitos.....	109
Vitelogénesis.....	109
Ovulación.....	110
Maduración.....	110
Espermatogénesis.....	111
Espermioogénesis.....	112
Control Neuroendocrino de La Reproducción	112
Componentes neuroendocrinos.....	112
Glándula pineal.....	113
Hipotálamo.....	113
Hormonas liberadoras.....	113
Hormonas inhibidoras.....	113
Hipófisis.....	114
Control endocrino.....	114
Control endocrino en hembras.....	114
Control endocrino en machos.....	114
Influencia Ambiental en La Reproducción	116
Factores últimos.....	116
Factores próximos.....	116
Inducción a La Puesta	116
Propagación natural.....	116

Propagación artificial	116
Especificidad del inductor hormonal.....	116
Dosificación.....	117
Hora y época de aplicación	117
Lugar de acción.....	117
Referencias	120
CAPÍTULO 6. MANEJO PRODUCTIVO DE LAS TILAPIAS CARLOS ESPEJO GONZÁLEZ Y MATEO ESPEJO VALENCIA	125
Generalidades	125
Producción de Tilapias.....	125
Especies trabajadas industrialmente en Latinoamérica.....	126
Aspectos reproductivos.....	127
Manejo de reproductores, producción y selección	128
Producción Comercial de Alevinos y Reversión Sexual	130
Obtención de Alevinos por Recolección en Las Orillas de Los Estanques.....	130
Obtención de Alevinos Por Incubación.....	131
Posibles Modelos en La Ceba de Las Tilapias.....	131
Producción en estanques en tierra.....	131
Producción en jaulas.....	133
Producción de tilapias en estanques de geomembranas - Sistema BIOFLOC	134
Producción de tilapia en aguas salobres o ambientes eurialinos.....	135
Referencias	136
CAPÍTULO 7. CULTIVO DE TILAPIA EN JAULAS FLOTANTES EDGAR FABRICIO REDONDO MARTÍNEZ	139
Introducción	139
Actualidad y relevancia del cultivo de tilapia en jaulas flotantes en Colombia.....	139
Generalidades del sistema productivo	141
Estructura	142
Tipos de jaulas.....	142
Uso Legal.....	143
Comportamiento y calidad de sus aguas.....	144
Impacto ambiental o influencia del cultivo sobre el medio	145
Estructuras requeridas para la implementación de un sistema productivo en jaulas flotantes en el contexto empresarial.....	145
Descripción del Proceso Productivo	148
Alevinaje.....	148
Engorde.....	149
Alimentación.....	149
Enfermedades de importancia en Cultivos de Tilapia.....	150
Cosecha.....	151
Mercado.....	151
Referencias	153
CAPÍTULO 8. PRODUCCIÓN DE TRUCHA ARCOÍRIS (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) EN ESTANQUES Y JAULAS RAFAEL ROSADO PUCCINI Y OSCAR MURILLO GARCÍA	155
Introducción.....	155
Generalidades.....	156
Calidad de agua.....	156
Aspectos de práctica alimenticia	159
Tipos de alimento.....	160
Frecuencia y ajuste de tasas.	161
Almacenamiento.....	162
Selección.....	163
Programa de producción.....	163
Monitoreo del cultivo.....	164
Sanidad y bioseguridad.....	167
Producción de semilla.....	168
Cultivo de trucha en estanques.....	172

Unidades de cultivo.....	172
Capacidad de carga.....	173
Cultivo de trucha en jaulas flotantes	176
Selección del lugar de cultivo.....	177
a) Análisis del sitio.....	177
b) Evaluación del recurso hídrico.....	177
c) Servicios anexos	177
Infraestructura	178
La jaula flotante.....	178
Aspectos de diseño.....	179
Fabricación de la red.....	179
Infraestructura complementaria.....	180
Proceso productivo.....	181
Fases de producción.....	181
Cosecha.....	182
Referencias.....	183

CAPÍTULO 9. EL CULTIVO DE LAS CACHAMAS BLANCA (*Piaractus brachypomus*)

Y NEGRA (<i>Colossoma macropomum</i>) RICARDO GONZÁLEZ ALARCÓN	185
Introducción	185
Características de Las Especies	186
Reproducción	188
Manejo de reproductores en cautiverio	188
Selección de reproductores	189
Inducción Hormonal – Incubación.....	190
Larvicultura	191
Enfermedades.....	191
Engorde	192
Crecimiento	192
Alimentación	194
Manejo.....	195
Procesamiento.....	196
Manejo para la prevención de enfermedades en el cultivo.....	197
Cultivo.....	198
Cultivo en estanques.....	198
Cultivos intensivos	202
Comercialización	202
Referencias.....	206

CAPÍTULO 10. ANOTACIONES SOBRE EL CULTIVO COMERCIAL DE ESPECIES ÍCTICAS

NATIVAS DE MAYOR RELEVANCIA EN COLOMBIA HUGO HERNÁN FRANCO ROJAS.....	211
Introducción	211
Osteoglosidos	211
Generalidades	211
Manejo de reproductores de Arawana plateada.....	212
Adecuación de estanques.	212
Marcación de reproductores.	213
Conformación de unidades de producción.	213
Alimentación de reproductores.....	213
Manejo de calidad de agua en estanques de reproducción.	214
Pesca de Incubantes y Extracción de Larvas	214
Extracción de larvas o embriones.	216
Incubación artificial.	216
Pirarucú	216
Reproducción.....	216
Desove.....	217

Comportamiento reproductivo y cuidado parental del pirarucú (<i>Arapaima gigas</i>) en cautiverio.....	217
Manejo de reproductores.....	218
Estanques para manejo de reproductores de pirarucú.....	218
Alimentación.....	218
Marcación de los reproductores.....	219
Transporte de reproductores.....	220
Manejo de alevinos.....	220
Captura de Alevinos.....	221
Alimentación y entrenamiento alimentario.....	221
Cultivo de Pirarucú en estanques.....	222
Precría.....	222
Ceba o engorde.....	222
Engorde con alimento concentrado al 40-45% de proteína.....	222
Engorde con alimento vivo.....	223
Engorde con alimento combinado 50% vivo-50% concentrado.....	225
Beneficio y poscosecha.....	226
Proceso de sacrificio de Pirarucú.....	226
Rendimiento de carne en canal de pirarucú.....	227
Composición de la carne de Pirarucú.....	227
Especies del género <i>Brycon</i>	229
Generalidades.....	229
Piscicultura.....	229
Reproducción inducida.....	229
Criopreservación de gametos.....	230
Larvicultura.....	230
Alevinaje.....	231
Nutrición.....	231
Cultivo.....	231
Silúridos	231
Generalidades.....	231
Bagre rayado.....	232
Mantenimiento y manejo de los reproductores.....	232
Reproducción.....	233
Larvicultura.....	233
Alevinaje.....	233
Precría.....	234
Engorde.....	235
Híbridos.....	235
Bocachico	235
Generalidades.....	235
Cultivo.....	236
Referencias	237

CAPÍTULO 1

CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE ACUICULTURA

GUSTAVO SALAZAR ARIZA¹



Introducción

La acuicultura, conforme a la definición de la FAO, es “la cría de organismos acuáticos, comprendidos peces, moluscos, crustáceos y plantas. La cría supone la intervención humana para incrementar la producción; por ejemplo: concentrar poblaciones de peces, alimentarlos o protegerlos de los depredadores. La cría supone, asimismo, tener la propiedad de las poblaciones de peces que se estén cultivando. La acuicultura varía mucho según el lugar donde se lleve a cabo, desde la piscicultura de agua dulce en los arrozales de Vietnam hasta la cría de camarón en estanques de agua salada en las costas de Ecuador y la producción de salmón en jaulas en las costas de Noruega o de Escocia”.

Existe un principio relacionado directamente con la acuicultura, que es el Código de Conducta para la Pesca Responsable (FAO, 1995), que se define como: “El conjunto de principios y normas internacionales de comportamiento para el sector pesquero y de la acuicultura. El objetivo de este código de aplicación voluntaria es garantizar la conservación efectiva, la gestión y el fomento de los recursos acuáticos vivos. El Código fue elaborado por la FAO en colaboración con más de 170 de los gobiernos de sus países miembros, organizaciones intergubernamentales, representantes de la industria pesquera y organizaciones no gubernamentales. La ejecución del Código compete a los gobiernos de los países, en cooperación con su industria y comunidades de pescadores y la función de la FAO consiste en proporcionar apoyo para esas actividades”. Es importante tener en cuenta las recomendaciones efectuadas en este Código, que propenden por el aprovechamiento y desarrollo

sostenible de las actividades de pesca y acuicultura.

Sobre el cambio climático, como consecuencia del calentamiento global, la FAO (2012) menciona que “la función de los océanos y otros sistemas acuáticos como importantes sumideros de carbono y su influencia en el clima, la salud, la seguridad alimentaria y el desarrollo económico en las zonas costeras y ribereñas es decisiva y sufre una amenaza inminente debido al cambio climático. La acumulación de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero están modificando algunas de las características fundamentales de los océanos, las costas y los ecosistemas de aguas dulces. Están cambiando las temperaturas del aire y la superficie del mar, la lluvia, el nivel del mar, la acidez del mar, las pautas de los vientos y la intensidad de los ciclones tropicales. Los cambios físicos y químicos que se producen en los océanos y en las aguas dulces modificarán la producción acuática, la composición de la captura y la distribución de las especies, a través de una compleja interacción de modificaciones ecológicas. Estos cambios repercutirán en la pesca y los hábitats así como en la composición y ubicación de la producción y generarán grandes repercusiones en la productividad y sostenibilidad de la acuicultura. Los cambios físicos que se verifiquen en las costas, los estuarios, los humedales, los lagos y los ríos, obedecerán a la modificación de las pautas del clima, a los fenómenos meteorológicos naturales extremos y al aumento del nivel del mar. Todo esto repercutirá en la seguridad de la población, de sus hogares y sus medios de producción, así como en los activos pesqueros y acuícolas y en la infraestructura”, situación que ya se viene presentando en el mundo y que se seguirá intensificando en la medida que no se adopten las medidas para detenerlo o mitigarlo.

¹Biólogo Marino, Oficina de Generación del Conocimiento y la Información – OGCI – AUNAP. gustavo.salazar@aunap.gov.co

En Colombia, ya se ve la situación en las zonas de Páramo y en las cumbres de los nevados, que se están derritiendo cada vez más.

El origen de la acuicultura se remonta al siglo V antes de Cristo en China, de donde provienen los primeros testimonios que describen el cultivo de las carpas, tanto con fines ornamentales como alimenticios (Aguilera y Noriega, 1988). Presumiblemente desarrollada por los primeros agricultores como uno de los muchos sistemas de producción primaria, dirigidos a asegurar el aprovisionamiento de alimentos y otras referencias reportan su existencia desde hace unos 3.500 años en la Mesopotamia. Durante la dinastía de Han Oriental (25 a 250 d. C.) se documentó la producción combinada de arroz y peces. En la época imperial de los antiguos Romanos, también fue reportada y más tarde se convirtió en parte del sistema de producción de alimentos de los Monasterios Cristianos de la Europa Central.

Los productos obtenidos de la acuicultura son en su mayoría peces, crustáceos, moluscos, equinodermos y algas, entre otros. Son alimentos de alta calidad, que contienen cantidades importantes de materias proteicas, son ricos en vitaminas y minerales y poseen cantidades variables de grasa, calcio, fósforo y otros elementos, necesarios para la salud del hombre y su crecimiento, siendo los salmónidos como la trucha y el salmón, ricos en ácidos grasos insaturados Omega 3, benéficos para la salud y para el buen funcionamiento del sistema cardiovascular. Los expertos en nutrición son unánimes en considerar que el pescado acompañado de diversos productos vegetales se constituye para el ser humano en una alimentación equilibrada (Bard *et al.*, 1975).

Colombia tiene condiciones privilegiadas para el desarrollo de la acuicultura, como el de contar con diferentes climas, topografía, fuentes hídricas, edafológicas y de alta biodiversidad de organismos acuáticos susceptibles de involucrar, de tipo ornamental y de consumo. Su localización geográfica en la franja ecuatorial, presenta un régimen de temperaturas estable durante el año y se encuentran todos los pisos térmicos (frío, medio y cálido) con altitudes que van desde los 0 hasta los 5800 msnm aproximadamente y cuenta además con aguas dulces, salobres y marinas. Su posición geográfica hace que pueda tener acceso a diferentes continentes para la exportación de sus productos.

Marín (1992) reporta que el volumen total de las reservas de agua existentes en el país se encontraban distribuidas en 40 grandes lagunas y embalses que ocupaban una superficie de 65.526 ha. El espejo de agua ocupado por ciénagas y otros cuerpos de agua similares se calculó en cerca de 607.504 ha, situándose el 57,5% en los departamentos de Bolívar y Magdalena. En época

de invierno se reporta que la cuenca del Magdalena en las zonas media y baja posee planos inundables con una superficie cercana a las 2'000.000 de hectáreas. Sin embargo, este panorama ha cambiado en los últimos años, por la deforestación, ampliación de la frontera agrícola, cultivo de palma africana, ganadería, cultivos ilícitos, desecación de ciénagas, taponamiento de caños, desvío de cursos de agua, minería legal e ilegal y explotación de hidrocarburos, entre otros, situaciones que afectan su riqueza hídrica y biodiversidad, por alteración del hábitat y pérdida de biodiversidad terrestre y acuática, que están ligadas estrechamente.

Rodríguez *et al.* (1992) mencionan que conforme a estudios realizados por EAFIT en la década de los 90, la disponibilidad de terrenos aptos para el cultivo de camarón marino para la costa Caribe se estimaron en 20.000 ha y para la costa Pacífica en 17.421 ha. Esta industria, a pesar del buen crecimiento inicial se ha visto afectada por diferentes factores; sin embargo, Ecuador, país que recibió en sus inicios asesoría por parte de técnicos colombianos, si pudo avanzar con afectación de sus ecosistemas de manglar, contando con cerca de 220.000.

En Colombia se cuenta con ecosistemas de Páramo que se encuentran en pocos lugares del mundo y que son garantía para el suministro de agua en las diferentes cuencas del país donde se realizan actividades agropecuarias, entre ellas la acuicultura. Su conservación es imprescindible para el desarrollo de todas estas actividades. Estas zonas de Páramo se ubican por lo general, desde los 2.700 hasta los 4.000 ó 5.000 msnm y se localizan en Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela. Sin embargo, gran parte de la porción terrestre de los continentes se está erosionando por la pérdida de la cobertura vegetal, afectando tanto el agua en todo su curso como el hábitat y los nichos ecológicos de las especies en su estado natural y de las explotaciones acuícolas.

La acuicultura está avanzando y evolucionado rápidamente en los últimos años en el mundo, situándose a la par y superando a la pesca de captura, desarrollándose continuamente con nuevas tecnologías de sistemas de recirculación, biofloc, acuaponía, aireación, entre otros, buscando el empleo de menor cantidad de agua.

La acuicultura en Colombia se remonta hacia finales de los años 30, cuando se introdujo al país la trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* para el repoblamiento de aguas de uso público en la zona Andina, específicamente en el Lago de Tota en Boyacá, con fines de pesca deportiva. Posteriormente se introdujeron la carpa *Cyprinus carpio* y la tilapia negra *Oreochromis mossambicus*, con las que se adelantaron las primeras experiencias de cultivo

en estanques, al transferirse la tecnología de otros países, pero sus resultados no fueron muy satisfactorios. Posteriormente en los años 60 se realizó un primer curso sobre piscicultura auspiciado por la FAO y en 1965 se estableció un programa de piscicultura en la Universidad de Caldas para generación de tecnologías apropiadas en piscicultura para la zona cafetera y diversificar el cultivo del café, ofreciendo alternativas productivas a los caficultores. Luego en 1967 se introdujo la *Tilapia rendalli* para programas de fomento de la Federación Nacional de Cafeteros, se estableció el Instituto de Piscicultura Tropical de Buga (Valle del Cauca) y se iniciaron estudios con especies nativas como el bocachico *Prochilodus magdalenae*, efectuando su reproducción artificial en la Estación Piscícola de San Cristóbal (Bolívar).

Las especies de agua dulce que más se destacan en los cultivos son el híbrido rojo de tilapia o mojarra roja (*Oreochromis* spp), la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*), la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), las cachama blanca (*Piaractus orinoquensis*) y cachama negra (*Colossoma macropomum*), el bocachico (*Prochilodus magdalenae*), el yamú (*Brycon amazonicus*) y la dorada (*Brycon moorei*). A nivel de peces marinos, los que tienen mayor proyección para el cultivo actualmente son el mero (*Epinephelus itajara*) y el pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*), en crustáceos el camarón (*Litopenaeus vannamei*) y en cuanto a moluscos, ya existe la tecnología de cultivo de la ostra de mangle (*Crassostrea rhizophorae*).

Institucionalmente se ha tenido una transición en el sector de la pesca y la acuicultura, desde el Ministerio de Agricultura de la época, luego pasando por entidades como elINDERENA, INPA, INCODER, ICA y AUNAP en la actualidad. En cuanto a cooperación internacional se ha contado con el apoyo de la FAO, AID, JICA, CIID, KOICA, TIKA, entre otros.

Se han impulsado programas nacionales de investigación y desarrollo, muchas entidades se han involucrado actualmente a su desarrollo desde el nivel nacional y territorial y ahora muchas universidades se han vinculado con sus programas de formación académica, de investigación y de extensión. Se ha formado un gran número de personas a diferentes niveles, como técnicos, tecnólogos, profesionales, master y doctorado.

Innumerables, congresos y simposios han contribuido al desarrollo de la acuicultura en los que se presentan los avances y participan diferentes representantes del sector y de los eslabones de la cadena productiva, que permiten el intercambio de conocimientos y experiencias. En el 2018 se realizó en Bogotá el evento Laqua-18, Capítulo Latinoamérica y Caribe,

de la reunión anual de la Word Aquaculture Society, - WAS que contó con una amplia participación a nivel nacional e internacional. De otra parte se han traído innumerables expertos que han contribuido al desarrollo de la acuicultura nacional y muchos entes del Estado y privado se han involucrado a su desarrollo, así mismo se han creado múltiples asociaciones y algunos centros de investigación y agremiaciones del orden nacional y regional. A pesar de todo lo anterior se recomienda en diferentes sectores, que el ente estatal creado para la investigación, administración y fomento de la pesca y la acuicultura en Colombia, debe ser fortalecido en virtud de la complejidad del sector y de las posibilidades que se tienen para un mayor desarrollo.

Estado actual

Estudios realizados por la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico – OCDE en el año 2016, mencionan que el sector pesquero colombiano sólo hizo una pequeña contribución al PIB, menos del 0,2% para el año 2012, pero que generó empleo, ingresos y alimentos en las zonas rurales donde las oportunidades económicas fueron escasas. Menciona que la acuicultura está creciendo rápidamente y que desde el 2008 ha producido más que la pesca de captura, con cerca de 88.000 toneladas de productos pesqueros, casi el triple de lo producido a mediados de los años 90, representado por tilapia, trucha y cachama principalmente en agua dulce y en acuicultura marina por la producción de camarón y que el rápido crecimiento de la acuicultura mundial está distribuido de manera desigual entre los países. Para Colombia se ha reportado que se tienen más de 700.000 microcuencas y más de 20 millones de hectáreas de ecosistemas acuáticos con alta biodiversidad, por lo que se vislumbra que la acuicultura seguirá creciendo.

Conforme a la información reportada por el observatorio de Cadenas Productivas del MADR, en el año 2014 se produjeron alrededor de 100.000 toneladas de productos provenientes de la acuicultura continental en su mayoría y que los pequeños productores fueron los responsables de cerca de una tercera parte del volumen total, constituido básicamente por tilapia roja y plateada, trucha arco iris y cachama blanca y negra, que representan cada una alrededor del 13%.

En materia de investigación se cuenta con una Agenda Nacional de Investigaciones en Pesca y Acuicultura, elaborada por el MADR en el 2012 y para el desarrollo, la AUNAP y la FAO elaboraron en el 2014 el Plan Nacional para el Desarrollo de la Acuicultura Sostenible.

En términos de producción, la pesca y la acuicultura están siguiendo caminos opuestos de crecimiento (Tabla 1) y probablemente de acuerdo con esta tendencia, el crecimiento futuro de la producción de alimentos de origen acuático, provendrá de la

acuicultura principalmente.

La producción de la pesca de captura disminuyó significativamente en los últimos diez años, debido a la sobreexplotación de las principales especies

Tabla 1. Producción Nacional del Sector Pesquero y de la Acuicultura
Periodo (2009-2018)

AÑO	PESCA ARTESANAL E INDUSTRIAL				ACUICULTURA			TOTAL
	Pacífico	Caribe	Continental	Subtotal	Marina	Continental	Subtotal	
2009 ¹	36.686	8.546	22.927	68.159	18.123	59.818	77.941	146.100
2010 ¹	34.105	3.476	20.211	57.792	12.576	58.348	70.924	128.716
2011 ¹	51.991	2.554	25.280	79.825	9.410	63.154	72.564	152.389
2012 ²	38.996	2.534	7.141	48.671	9.543	72.277	81.820	130.491
2013 ²	31.361	4.027	9.140	44.528	4.800	86.332	91.132	135.660
2014 ²	14.225	20.664	9.107	43.996	3.269	97.277	100.546	144.542
2015 ²	14.225	20.664	9.216	44.105	2.200	103.114	105.314	149.419
2016 ²	3.972	8.171	5.816	17.959	173	10.114	10.287	28.245
2017 ³	35.783	12.028	28.280	76.091				76.091
2018 ³	13.606	7.538	14.266	35.411				35.411

Fuente:

¹Anuario Estadístico del Sector Agropecuario (2011)

²Servicio Estadístico Pesquero Colombiano – SEPEC (Metodología 2012-2016). Datos de referencia.

Estimaciones en los sitios de desembarco y por el período de toma de información que varía año tras año.

³Servicio Estadístico Pesquero Colombiano – SEPEC (Metodología 2017-2018). Estimaciones globales en todas las cuencas y litorales del país y por el período de toma de información que varía de un año a otro

capturadas y daños ambientales en los hábitats de las especies y alteraciones de la calidad del agua, entre otros factores. La producción en el 2013 sólo representa aproximadamente el 50% de las cosechas del nivel máximo en la década de 1990. La producción acuícola, sin embargo, casi se triplicó entre mediados del decenio de 1990 y 2013, lo que refleja las

tendencias mundiales y el país importa mayor cantidad de productos pesqueros que los que exporta (Fig. 1).

El consumo per cápita de pescados y mariscos se incrementó en la población Colombiana, aumentando a 7,6 aproximadamente, aportando la acuicultura un alto porcentaje al consumo.



Figura 1.- Importaciones y Exportaciones Totales de Pesca Periodo (2004-2013) Fuente: FAO (2014)

Ya en Colombia existen empresas especializadas en la provisión de equipos nacionales e importados, tecnología, asesoría, insumos y semilla, entre otros, para los productores, lo cual ha ido mejorando, aunque es un sector que tiene sus altas y sus bajas. En el caso del cultivo de trucha se continúa la importación de ovas procedentes de EEUU y Canadá y en los últimos años de Francia.

En cuanto a las instalaciones que se utilizan actualmente para la acuicultura se ha incrementado el uso de la geomembrana como recubrimiento de estanques en tierra o en tanques circulares. En los últimos años se ha aumentado el cultivo de peces en jaulas flotantes, tal es el caso del embalse de Betania y en lagunas como la Cocha (Nariño) y el lago de Tota (Boyacá).

Ventajas de la acuicultura

En los últimos años se ha observado una gran acogida hacia la acuicultura y esto se debe en gran parte a las ventajas que presenta frente a otras actividades agropecuarias tradicionales, las cuales se pueden resumir así:

- La producción obtenida por unidad de área en el agua es mucho mayor que la que se puede obtener en la tierra.
- Los organismos acuáticos por ser de sangre fría no gastan energía en mantener su temperatura corporal, lo que los hace convertidores de alimento más eficientes.
- La densidad corporal de los organismos acuáticos, exceptuando los de concha dura, es casi igual a la del agua que habitan, por lo que no requieren consumir mucha energía para su soporte físico y por lo tanto la dedican para su crecimiento.
- La acuicultura permite incorporar a la economía de la finca o granja, suelos no aptos o de baja productividad para la práctica de actividades agropecuarias tradicionales.
- Se presenta como una valiosa alternativa para el suministro de productos pesqueros (peces, crustáceos, moluscos), frente a las progresivas disminuciones de las capturas de los recursos pesqueros marinos y continentales y su inocuidad
- Permite el aprovechamiento secundario de cuerpos de agua como embalses, represas, lagos y jagüeyes, entre otros, cuyo objetivo principal

es la producción de energía o reservorios de agua para bebedero de animales y riego, entre otros.

- Han evolucionado las tecnologías de producción y la incorporación de nuevas especies a la producción y la cadena productiva de la industria se ha mejorado y especializado en este renglón, aumentando su competitividad.

- Producción de alimento de alto valor proteico e inocuo.

La acuicultura se puede clasificar según el tipo de producción, grado de manejo y tecnología empleada en: **Extensiva, Semiintensiva e Intensiva**. De acuerdo con el número de especies que se integren al cultivo se emplearán los términos **monocultivo**, en el caso del cultivo de una sola especie y **policultivo** si se trata de dos o más especies. Si se complementa o combina con otras actividades agropecuarias se tratará de cultivos integrados.

Colombia tiene un alto potencial para el cultivo de peces en jaulas, corrales y encerramientos, ya que posee grandes áreas en espejo de agua en planos inundables, ciénagas, lagos, lagunas, esteros y embalses, entre otros, que se espera se puedan reglamentar y utilizar en los próximos años. En los últimos años se ha observado un gran desarrollo de la piscicultura en jaulas flotantes, sistemas de recirculación, sistemas de Biofloc y cultivos de acuaponía.

Entre las posibilidades más novedosas y recientes, desde alrededor de los años 90, se comienzan a desarrollar las denominadas tecnologías del biofloc (Avnimelech *et al.* (1994) y Chamberlain y Hopkins (1994) en Rosado y Fresneda, 2014) que se basan en conceptos que combinan estanques con aireación permanente, en sistemas semejantes a las plantas de tratamiento de aguas residuales, en los que se promueve la maximización del potencial de procesos microbiales, lo que al final se traduce en la disminución de fracciones tóxicas de compuestos nitrogenados, en unidades donde se reduce en gran proporción el uso del agua.

El floc que se forma es un agregado compuesto por microbios, algas, protozoos y otros microorganismos, en un microambiente de detritos y partículas orgánicas. Se inyectan altas tasas de aireación que actúan suministrando elevadas concentraciones de oxígeno disuelto y por ello se produce alta turbulencia favoreciendo la homogenización de la mezcla; los residuos orgánicos que se producen sirven como sustrato para el crecimiento de las bacterias, llevando al sistema a una condición cada vez más heterotrófica.

En algunos lugares se ha realizado con relativo éxito (Fig. 2), ya que se cuenta con personal técnico entrenado y con conocimientos básicos en acuicultura y además cuentan con los equipos básicos (aireación, calidad de aguas, pesaje, planta eléctrica, etc.) y reactivos químicos necesarios, monitoreando y manejando el sistema de forma permanente durante todo el tiempo del cultivo, para que se mantenga el sistema y por consiguiente el buen estado de salud de los organismos que se cultiven. Se ha tratado de masificar esta tecnología en el país, pero es costosa y requiere de personal técnico calificado que asesore al productor y sus técnicos y que estén al frente del proyecto, hasta que el productor lo pueda manejar, situación que no se ha presentado en todos los casos y por ello muchos proyectos se han abandonado, se crearon muchas expectativas por lo innovador, pero se trata de una tecnología que no es fácil de implementar y operar, es costosa para que funcione bien y el pescado o camarón, debe comercializarse a un buen precio para que se tenga una adecuada rentabilidad que le permita continuar operando, si esto no ocurre, fracasan los proyectos.



Figura 2.- Vista general de un proyecto con sistema biofloc

La acuaponía es un conjunto de procesos y componentes que se utilizan para el cultivo de organismos acuáticos y vegetales, en los que el agua es continuamente limpiada y reutilizada usando la tecnología de los sistemas de recirculación cerrada RAS. Este tipo de sistemas permite el monitoreo y control del agua en los parámetros fisicoquímicos, tales como: Temperatura, pH, S‰, O_2 , CO_2 , alcalinidad y metabolitos como el nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos (Beltrán de la Ossa, 2015).

Es el cultivo combinado de organismos acuáticos y plantas en un mismo sistema de recirculación o circuito cerrado (Fig. 3).

Estos proyectos requieren de buenos productos para recuperar los gastos de inversión y operación, que deben ser bien calculados. Otras alternativas para la producción de vegetales y peces se pueden dar cuando las aguas de la acuicultura, después de ser utilizadas, se vierten sobre terrenos en los que se cultivan vegetales que pueden aprovechar estos nutrientes generados, en lugar de disponerlos directamente sobre los cuerpos de agua naturales.



Figura 3.- Vista general de proyectos con sistema de Acuaponía de peces, biofiltros y camas de vegetales
Fuente: Beltrán de la Ossa (2015)

Referencias

- Aguilera, P. y Noriega, P. (1988). Qué es la acuicultura? FONDEPESCA, México. 58 p.
- AUNAP – FAO (2014). Plan Nacional para el Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia – PlaNDAS. Colombia. 84 p.
- Beltrán de la Ossa, C. (2015). Diseño Acuaponico Alternativo para el Desarrollo del Sector Agro - Piscícola, AUNAP - Estación Piscícola de Repelón (Atlántico). 23 p.
- Bard, J., Kimpe, P., Lemasson, J. y Lessent, P. (1975). Manual de Piscicultura Destinado a la América Tropical. Centre Technique Forestier Tropical, 2ª edición, Francia. 164 p.
- FAO. (1995). Colombia. Código de Conducta para la Pesca Responsable. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma. 46 p.
- FAO. (2012). Estrategia para la pesca, la acuicultura y el cambio climático. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma. 19 p.
- FAO (2014). La Pesca en Cifras (2014): Trade Map, ITC calculations based on UN Comtrade Statistics 2014.
- Marín, R. (1992). Estadísticas sobre el recurso agua en Colombia. HIMAT, Arfo Ltda., Bogotá. 412 p.
- Rodríguez, H., Salazar, G. y Polo, G. (1992). Actualización del Estudio Sectorial sobre el estado de la Acuicultura en Colombia. FAO. 150 p.
- Rosado, R. y Fresneda, A. (2014). Evaluación del cultivo de tilapia (*Oreochromis* sp) en sistemas intensivos con uso de bioflocs, cero recambio de agua y disminución del nivel de proteína en el alimento, AUNAP, Estación de Acuicultura Gigante (Huila). 14 p.

CAPÍTULO 2

CALIDAD DEL AGUA EN ACUICULTURA

JAIME FERNANDO GONZÁLEZ MANTILLA¹



Introducción

El concepto de *Calidad del Agua* (CA) es dependiente y relativo al destino o uso que se le dé a la misma (Weiner, 2008). Por ello, este concepto difiere entre un químico en su laboratorio, un salubrista o un piscicultor. La CA aplicada al propósito de satisfacer necesidades de las especies animales se refiere a las características físicas, químicas, biológicas y radiológicas que determinan su conveniencia de uso según los requerimientos de cada especie (Diersing, 2009). El concepto, aplicado a la acuicultura y a la piscicultura, indica los rangos numéricos y las características cualitativas de las variables físico-químicas que definen la naturaleza propia del agua y que ofrecen condiciones adecuadas para la cría, mantenimiento, reproducción y desarrollo de las especies acuáticas de interés productivo. La salud de los animales como manifestación de un buen manejo del sistema productivo en el que se encuentran, su bienestar y la expresión de su potencialidad productiva es en buena medida una función de la CA. A su vez, la CA está determinada en buena parte por la interacción de los elementos que conforman el sistema productivo, a saber: manejo general, nutrición, alimentación, genética y sanidad, entre otros. Además de las características físico-químicas, la CA como concepto también incluye la posible presencia de contaminantes químicos en las aguas y sus efectos en la salud de los animales. En este capítulo se revisarán los aspectos de CA que aplican en particular para los sistemas tradicionales como estanques en tierra, canaletas y sistemas abiertos (jaulas y jaulones). También se analizarán los parámetros adecuados de CA para las principales especies piscícolas. El tema de los contaminantes químicos será revisado en forma menos exhaustiva.

La forma tradicional de evaluar la CA en un sistema productivo es a través de un seguimiento sistemático y periódico del mayor número posible de variables físico-químicas, así como detectando la presencia de contaminantes que puedan alterar la composición ideal. Sin embargo, por razones de tiempo consumido y dinero, los conceptos de *variables representativas* e *índices de calidad de agua* han cobrado un mayor uso y serán tratados en este capítulo con ejemplos ilustrativos al respecto.

Este capítulo incluye las siguientes secciones: I. Fuentes de abastecimiento de agua en los sistemas piscícolas. II. Principales variables físico-químicas y contaminantes del agua. III. Métodos de análisis, monitoreo e interpretación de resultados de la CA y IV. Medidas correctivas de la CA y manejo de vertimientos.

Fuentes de abastecimiento de agua en los sistemas piscícolas

La fuente de abastecimiento de agua de un sistema piscícola es el primer elemento de importancia a considerar en la valoración integral de la CA. Las fuentes disponibles para un piscicultor dependen de la zona geográfica en donde vaya a ser establecido el sistema productivo y de las prácticas aplicadas o protocolos de tratamiento de las fuentes. En este sentido se esperan diferencias importantes en la CA dependiendo de la fuente particular y de la región de estudio.

Las fuentes de abastecimiento de agua para los sistemas piscícolas provienen de diferentes orígenes: aguas lluvias, aguas superficiales (ríos, quebradas, lagos, lagunas, entre otros), agua potabilizada en plantas de tratamiento de la región o municipio en el cual se

¹M.V., M.Sc., Ph.D.. Profesor Titular, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Departamento de Salud Animal, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. jfgonzalezma@unal.edu.co.

localice el proyecto de acuicultura y aguas subterráneas obtenidas por perforación superficial o profunda del subsuelo (Colt y Tomasso, 2001).

Las aguas lluvias y las aguas superficiales de cuerpos naturales constituyen la primera fuente de abastecimiento para los sistemas piscícolas. Las características físico-químicas de estas fuentes pueden cambiar durante los ciclos hidrológicos y de lluvias de cada región. Otro factor que determina la CA es la naturaleza de las aguas superficiales; es decir, si son lóxicas (flujo en constante movimiento como ríos y quebradas) o lénticas (estáticas, como en lagos, lagunas o reservorios). En Colombia, los valores de la oferta hídrica y de las características físico-químicas del agua en su red hidrológica pueden ser consultados en el Estudio Nacional del Agua, documento que periódicamente publica el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), mostrando un diagnóstico periódico del recurso en el país. El más reciente de estos informes es el publicado en marzo del año 2019 (IDEAM, 2019). La oferta hídrica no sólo varía con los años según las crisis derivadas de fenómenos como el de El Niño, La Niña o el mismo calentamiento global, sino de la zona geográfica del país. Se estima que un número cercano a 391 municipios del país sufren de desabastecimiento de agua, la mayoría de éstos ubicados en la cuenca Magdalena-Cauca, seguida de la cuenca Caribe, Orinoquía, Amazonía y Pacífica (IDEAM, 2019). Las variaciones en la oferta hídrica del país también son revisadas por la Contraloría Delegada para el Medio Ambiente (CGR, 2016).

La CA de las fuentes o cuerpos de agua naturales puede determinarse a través de la evaluación de parámetros como el *Índice de Calidad del Agua* (ICA) y el *Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano* (IRCA). El sistema de valoración de la calidad del agua en el país tiene una cobertura reducida para el cálculo del ICA y del IRCA en todo el territorio nacional. De toda la red hidrográfica sólo están cubiertos con información completa los ríos Cauca (15 estaciones de muestreo en su recorrido) y Magdalena (25 estaciones de muestreo). En varios puntos de los dos ríos, hay estaciones que registran calidad *mala* o *muy mala*, particularmente por excesos de nutrientes, sólidos y conductividad (IDEAM, 2019). Con respecto al IRCA, la mayor proporción de municipios del país están en las categorías de riesgo *medio*, *alto* e *inviabilizable sanitariamente*, lo cual debe ser tenido en cuenta por el piscicultor para la posible intervención a la fuente antes de abastecer el sistema productivo (CGR, 2016).

En términos de CA, una vez superado el tema de abastecimiento mínimo deseable es importante señalar que todo cuerpo de agua que sirva como fuente para un sistema de acuicultura debe ser valorado periódicamente por el piscicultor para tener sus registros propios, adicionales a los que suministran las fuentes oficiales de información, ya que las características de CA son únicas para cada fuente a pesar de encontrarse en una zona a la que se le describan características generales.

El agua obtenida de los acueductos municipales, luego de un proceso de potabilización y adecuación para consumo es otra fuente directa de abastecimiento para el piscicultor. Si el tratamiento aplicado en la planta es adecuado, la presencia de patógenos, sólidos disueltos totales, alcalinidades o durezas extremas deberían resolverse en dicho proceso. Desafortunadamente, no hay una estandarización de procesos y la CA ofrecida por las plantas municipales o veredales puede ser muy variable. De hecho, la contaminación de las aguas del país por carga doméstica aumentó un 16% para el año 2018 con respecto al año 2010, generando más de 600.000 toneladas de desechos e incrementando la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) como consecuencia de que la mayoría de municipios no tratan adecuadamente sus aguas servidas (IDEAM, 2019).

Las aguas subterráneas son otra fuente a la que el acuicultor recurre con frecuencia. Su uso también requiere un análisis previo al mismo, ya que variables como la concentración de gases disueltos (ej. oxígeno, nitrógeno), así como la dureza y la alcalinidad pueden cambiar drásticamente con respecto a los valores encontrados en aguas superficiales o con tratamiento municipal. El contacto del agua subterránea con sustratos como piedras calizas en el subsuelo puede conferir características particulares a algunas de estas variables como es el caso de alcalinidades o durezas elevadas. En Colombia, la demanda nacional de agua es suplida en un 15% por fuentes de origen subterráneo. En todo el territorio nacional, a diciembre de 2014, se tenían identificados, 50.492 puntos para captación del agua subterránea, a saber: 12.866 pozos, 31.364 aljibes, 2.107 manantiales y 4.155 de otros tipos o sin información (CGR, 2016).

Principales variables físico-químicas y contaminantes del agua

Las variables físico-químicas del agua son los componentes constitutivos que determinan su naturaleza química, es decir, el hecho de ser una solución o mez-

cla homogénea de varios solutos (Weiner, 2008). Por su parte, los contaminantes son elementos ajenos a la composición ideal y primaria del agua en la mayor parte de los casos. Estos últimos provienen en su mayor parte de actividades antropogénicas con deficiente control o manejo de los residuos o efluentes producidos en las mismas. Entre éstas se tienen: eliminación de aguas servidas municipales, efluentes industriales no tratados, escorrentía de plaguicidas usados en agricultura y actividad pecuaria, drenajes ácidos de minería, hidrocarburos provenientes de extracción y/o transporte de petróleo, entre otros.

El número de variables físico-químicas que potencialmente se pueden analizar para hacer una valoración de la calidad del agua en los sistemas de acuicultura es muy amplio. Sin embargo, por razones de tipo práctico y económico es necesario escoger aquellas que tienen un mayor impacto en el sistema productivo. Dentro de las variables más relevantes para este propósito están: temperatura, concentración de oxígeno disuelto, concentración de dióxido de carbono (CO_2), pH, amoníaco, nitrito y nitrato; sulfuro de hidrógeno (H_2S), sólidos disueltos totales (SDT), salinidad, conductividad, así como dureza y alcalinidad. Si en una explotación piscícola se logra establecer monitoreo de la CA utilizando estas variables, se dispondrá de un programa de gran utilidad con este propósito. Se describen a continuación las principales características de estas variables, sus rangos ideales y los que se apartan de lo deseable en los sistemas piscícolas.

Temperatura

Es la variable física que tiene mayores efectos e interrelación con otros parámetros físico-químicos del agua, ya que afecta la solubilidad del oxígeno, la tasa de fotosíntesis, la relación de distribución entre las fracciones de amoníaco y amonio, entre otros. Además, incide directamente sobre la tasa metabólica de los organismos cultivados (Colt y Tomasso, 2001). La temperatura del agua sufre cambios o fluctuaciones normales durante el día, los cuales determinan a su vez cambios en los parámetros previamente mencionados. Cuando se dan cambios ambientales drásticos como épocas prolongadas de frío o calor intensos, las variaciones de la temperatura pueden conducir a hipotermias o hipertermias con respuestas adaptativas en un comienzo por parte de los peces, pero con efectos adversos posteriores si la condición se mantiene. El estrés por cambios en la temperatura puede afectar la salud de los peces comprometiendo su respuesta inmune y causando infecciones por patógenos oportunistas que puede llevarlos hasta la muerte (Noga, 2010).

Según el rango de temperatura de la zona de confort de los peces, éstos se pueden clasificar en varias categorías. Los peces de aguas cálidas tienen un óptimo de crecimiento y desempeño por encima de los 20°C . A su vez dentro de este grupo puede hablarse de especies tropicales o no tropicales. Las primeras morirán si la temperatura del agua cae muy por debajo del óptimo y las segundas, para los países con estaciones definidas, sobreviven durante la época de invierno, y muestran su mayor potencial en el verano. Si el óptimo de las funciones y el crecimiento para una especie está por debajo de 20°C se le clasifica como especie de aguas frías (Boyd, 2017).

Una situación particular de la temperatura de los estanques puede suceder en circunstancias especiales y se denomina la *estratificación* de la temperatura. Este fenómeno se refiere al desarrollo de zonas diferentes en cuanto a temperatura y composición físico-química en un estanque o sistema. Ocurre cuando la superficie del estanque se calienta mientras que el fondo permanece más frío. Esto pasa en estanques con profundidades mayores a 1,5 m y durante días muy calientes y con reducido viento, lo cual no permite una mezcla del agua y por ende se reduce la oxigenación en las partes más profundas del mismo. La temperatura del agua de la zona más superficial (epilimnio) es mayor que la del fondo (hipolimnio) y la poca turbulencia en la columna de agua por ausencia de corrientes hace que el fondo del estanque se torne hipóxico y genere cambios químicos debido al ambiente reductor que prevalece en la zona más profunda. Un diseño apropiado de los estanques con profundidades no superiores a 1,5 m evitará esta situación (Noga, 2010). La figura 1 incluye los elementos del ambiente que explican el fenómeno de la estratificación de la temperatura en los estanques.

Este fenómeno es más factible en sistemas abiertos como jaulas y jaulones ubicados en cuerpos de agua con profundidades considerables cuando las condiciones del ambiente como la alta temperatura y poco viento afectan el movimiento natural y la mezcla de las aguas (Boyd, 2017).

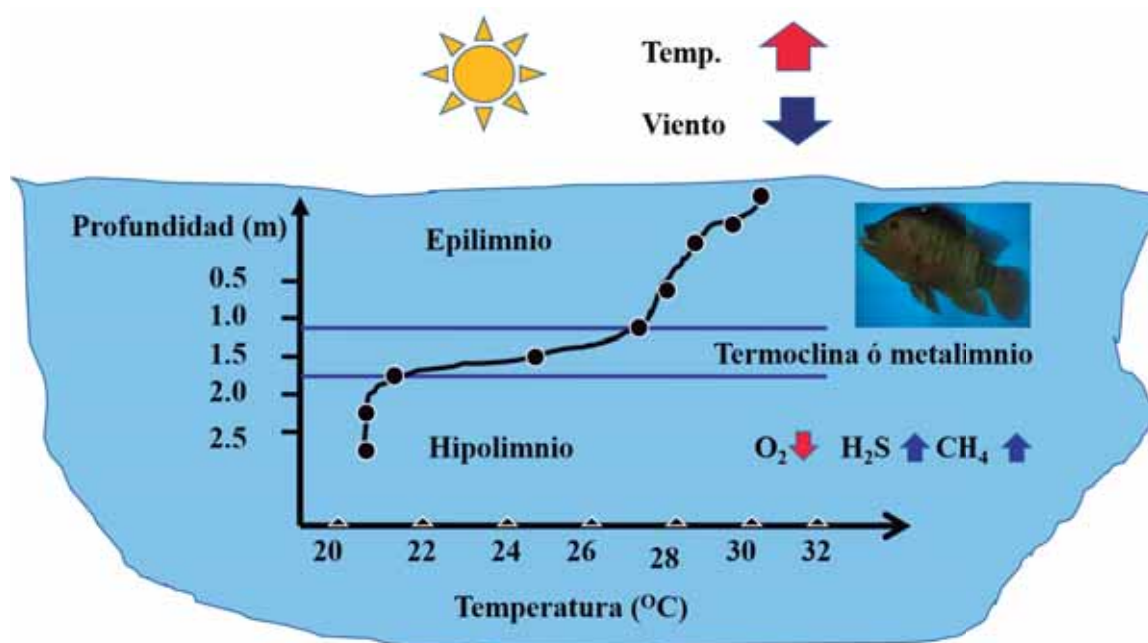


Figura 1. Estratificación de la temperatura en los estanques con una profundidad superior a la recomendada y en condiciones ambientales con alta temperatura y poco viento

Concentración de oxígeno disuelto

La concentración de oxígeno disuelto ([OD]) en el agua es el resultado de la relación que se da entre la difusión de este gas desde la atmósfera, la producción del mismo dentro del agua vía fotosíntesis y el consumo o gasto por la actividad respiratoria de los organismos que habitan el medio acuático (Boyd, 1979; Colt y Tomasso, 2001). También debe considerarse la utilización de OD en la degradación del detritus orgánico, a saber: alimento no consumido, materia fecal y otros de esta naturaleza. Esta última utilización es referida como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (Weiner, 2008).

En cualquier tipo de sistema piscícola, la [OD] es una variable crítica. Dentro de los elementos de manejo de una población piscícola, la tasa de alimentación es uno de los que influye categóricamente en la [OD]. Típicamente la demanda de oxígeno del alimento está entre 1,1 y 1,2 Kg de O_2 / Kg de alimento, mientras que la producción neta de oxígeno por fotosíntesis es de unos 20 a 40 g de oxígeno / hectárea / día, estimando una profundidad promedio del estanque de 1,0 metro (Boyd, 1973; Boyd y Tucker, 2014). Por ello una tasa de alimentación por encima de 30 Kg / hectárea / día conduce a una baja sensible del oxígeno en la noche a pesar de la difusión desde la atmósfera y puede hacer necesario que se implemente un sistema de aireación suplementaria para ese periodo crítico del día (Boyd, 2017).

La [OD] garantiza además el sustrato para llevar a cabo el ciclo del nitrógeno en forma adecuada en el agua, tal y como puede inferirse de la siguiente secuencia de reacciones:

Amoníaco (NH_3) >>> Nitrito (NO_2) >>> Nitrato (NO_3)

Este es un proceso netamente oxidativo que no puede llevarse a cabo eficientemente por parte de las poblaciones de bacterias encargadas (*Nitrosomonas* y *Nitrospira*) si no hay una concentración adecuada de OD. Más adelante se explica con mayor detalle la esencia de este ciclo para el equilibrio de un sistema.

El otro aspecto importante en el cual influye la [OD] es el nivel redox (potencial oxido-reductor) de las aguas en la biodisponibilidad de los metales presentes en éstas. Bajos potenciales redox, es decir condiciones reductivas con [OD] entre cero y muy bajos niveles (ej. < 3 ppm) incrementan la solubilidad de varios metales al promover números de oxidación más bajos para los cationes, esto es, por ejemplo, 2^+ en lugar de 3^+ . Por su parte, altos potenciales redox (condiciones oxidantes con alta concentración de OD) hacen el efecto contrario, disminuyendo la fracción soluble y absorbible del metal. En resumen, las aguas hipóxicas, además de su efecto indeseable *per se* para los organismos acuáticos, también incrementan el riesgo de absorción de metales, algunos de ellos con efecto tóxico directo (Weiner, 2008).

La concentración de oxígeno disuelto en las aguas puede expresarse como porcentaje de saturación o en partes por millón (ppm) del gas disuelto. La mayoría de animales expresan el máximo de su potencial productivo cuando están en aguas con un nivel de saturación del oxígeno en el agua (Collins, 1984). La saturación del agua se refiere a la máxima capacidad que tiene el agua a una temperatura y a una presión barométrica determinadas para alojar el gas disuelto en la misma (Colt y Tomasso, 2001; Weiner, 2008; Svobodová *et al.*, 2017). Las especies de aguas frías son más exigentes en los niveles de saturación del agua con oxígeno que las de aguas cálidas como claramente lo muestran los salmónidos en las condiciones que favorecen su cría, mantenimiento y desarrollo. Por su parte, las especies de aguas cálidas tienen una menor exigencia. La especie tilapia, de gran importancia en la piscicultura colombiana y mundial, se le reporta como particularmente resistente a condiciones temporales de hipoxia leve en las aguas (Boyd, 2017). La Tabla 1 muestra la relación entre la concentración del oxígeno y el desempeño de los peces de aguas cálidas. Los diferentes tipos de sistemas de producción en piscicultura (estanque en tierra, canaletas o *raceways*, jaulas/jaulones en aguas abiertas) determinan por su

propio diseño y disposición una disponibilidad de oxígeno que puede variar en cada caso (Fig. 2). En los estanques, el caudal de ingreso y salida/recambio va a determinar una concentración de oxígeno que alcanza un equilibrio según estos flujos y la entrada de oxígeno por difusión desde la atmósfera además de la producción interna del mismo por actividad fotosintética. Según la densidad de siembra, usualmente estos sistemas requieren de aireación suplementaria para garantizar una concentración mínima deseable de oxígeno. Las canaletas, principalmente de uso en producción de salmónidos, deben diseñarse para una caída del agua que con ayuda del flujo y la fuerza de la gravedad aumentan la concentración de oxígeno conforme el agua se desplaza por las diferentes unidades. Los sistemas abiertos son los que por su disposición y naturaleza ofrecen menos problema ya que hay un recambio constante de gases, metabolitos y desechos producidos a través de las mallas. A estos sistemas, sin embargo, se les debe vigilar y chequear periódicamente en lo referente a la limpieza de las mallas ya que la acumulación de detritus, algas y otros materiales orgánicos presentes en el agua puede obstruir los orificios de recambio de las mismas, lo cual desvirtuaría la esencia del recambio constante.

Tabla 1. Efectos de la concentración de oxígeno disuelto en peces de aguas cálidas (Información tomada y adaptada de Boyd, 2017)

Oxígeno disuelto (mg/L o partes por millón, ppm)	Desempeño o efectos indeseables
0,0 – 0,3	Peces pequeños sobreviven, pero durante cortas exposiciones a esta concentración
0,3 – 1,5	Letal si se prolonga por varias horas
1,5 – 5,0	Los peces sobreviven, pero tienen crecimiento lento y están más predispuestos a enfermedades
5,0 - saturación	Rango deseable
Por encima de saturación	Riesgo de “enfermedad de la burbuja” *

* La “enfermedad de la burbuja” es aquella en la que hay una sobresaturación con gases como el oxígeno y el nitrógeno en las aguas conduciendo a embolismo gaseoso en la sangre de los animales. Se da especialmente en sistemas de recirculación y de recambio continuo (Noga, 2010).

Concentración de dióxido de carbono (CO_2)

La fuente primordial de CO_2 en las aguas es la actividad respiratoria de los organismos acuáticos como subproducto de la misma. La concentración de CO_2 está inversamente relacionada con la concentración de oxígeno disuelto. Cuando la concentración de CO_2 se incrementa en las aguas, aquel que proviene de la respiración del

individuo y que requiere su eliminación, encuentra un gradiente en su contra que le impide su salida llevando a su acumulación en la sangre (hipercapnia), provocando luego una acidemia (pH sanguíneo reducido) en el animal. Un efecto fisiológico del aumento de la concentración de CO_2 en la sangre de los peces es la menor afinidad de la hemoglobina por el oxígeno, lo cual se denomina el efecto Bohr (Boyd, 2017).



Figura 2. Los tipos de sistemas de producción piscícola determinan por su disposición y diseño diferentes grados de disponibilidad de oxígeno para las especies cultivadas (superior: sistemas de jaulas y jaulones para producción de tilapia en represa de Betania (Huila). Inferior: estanques convencionales en tierra

La tolerancia de los peces al CO_2 varía según las especies. Para los salmónidos (ej. trucha arcoíris, salmones) los rangos de tolerancia se han fijado en concentraciones entre 20 y 24 mg/L (partes por millón) (Colt y Orwicz, 1991; Good *et al.*, 2010). Por su parte, los peces de aguas cálidas toleran niveles mayores, pero cuando se encuentran en niveles por encima de 60 mg/L pueden presentar un estado de narcosis y llegar hasta la muerte (Boyd y Tucker, 2014). Altos niveles de CO_2 en las aguas y por períodos prolongados han sido señalados como causantes de cataratas oculares en algunas especies como el bacalao del Atlántico *Gadus morhua* (Moran *et al.*, 2012) y de una condición conocida como nefrocalcinosis (Landolt, 1975), si bien éstas no son registradas con casuística frecuente.

Potencial de hidrogeniones - pH

El potencial de hidrogeniones (pH) es otra de las variables de obligatoria medición y monitoreo en los sistemas de acuicultura. El pH de las aguas influye directamente sobre otras variables por su interdependencia

química, particularmente la relación entre las fracciones de amoníaco (NH_3) y de ion amonio (NH_4^+). Esta relación se basa en que un sistema con tendencia hacia un pH alcalino, aumentará la fracción no ionizada, amoníaco NH_3 , la cual es tóxica para los organismos; mientras en el rango de pH ácido, la fracción prevalente será la del amonio NH_4^+ , debido al aporte de hidrogeniones para su formación, lo cual disminuye los riesgos intoxicación. La temperatura es el otro factor a considerar para definir la relación final entre $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ de las aguas. Al aumentar la temperatura, se aumenta la fracción tóxica (NH_3). Para mayor detalle de como calcular la fracción tóxica de amoníaco, ver la sección correspondiente.

El pH también se relaciona a su vez con otras variables como la disponibilidad de las fracciones solubles de metales. La tendencia general es que cuando las aguas están en el rango de zona ácida, la fracción que prevalece de la mayoría de metales es la soluble, lo cual los hace más absorbibles y potencialmente tóxicos para los organismos acuáticos (Weiner, 2008; Noga, 2010;

Boyd, 2017). La Tabla 2 muestra la relación entre el pH de las aguas y sus efectos en peces.

Amoniaco/Amonio, Nitrito y Nitrato

El nitrógeno es otro componente fundamental en la

CA de los sistemas de acuicultura. El ciclo del nitrógeno permite la asimilación del amoniaco (NH_3) excretado por los peces, los metabolitos que provienen de la degradación de la materia orgánica (materia fecal, alimento, detritus orgánicos del agua) y el CO_2 derivado de la respiración (Fig. 3).

Tabla 2. Efectos del pH de las aguas en los peces y otros organismos acuáticos (Tomada y adaptada de Boyd, 2017)

Valor de pH (unidades potenciométricas)	Efectos en peces y otros organismos
4,0	Valor de acidez que ocasiona mortalidad
4,0 – 5,0	Efectos negativos en reproducción
4,0 – 6,5	Crecimiento lento de varias especies
6,5 – 9,0	Rango óptimo para la mayoría de especies
9,0 – 11,0	Crecimiento lento y efectos adversos en reproducción
> 11,0	Valor alcalino que ocasiona mortalidad

Los peces son fundamentalmente amonotélicos, es decir, eliminan el nitrógeno sobrante en forma de NH_3 y excretan directamente este metabolito vía branquial y urinaria, contribuyendo a la carga total del mismo en las aguas. La elevación del NH_3 en las aguas se previene a través del proceso de nitrificación, el cual es el proceso oxidativo mediado por poblaciones bacterianas tipo *Nitrosomonas*, *Nitrobacter* y *Nitrospira*, que conduce a la formación final de nitrato (NO_3), pasando por nitrito (NO_2), previamente. Los valores tóxicos del NH_3 suelen tener un rango muy estrecho para todas las especies usadas en acuicultura, en particular las de peces. Idealmente, el NH_3 no debe ser detectado al hacer los análisis de las aguas a través de cual-

quiera de las metodologías posteriormente sugeridas. Valores superiores a 1,0 ppm (parte por millón) de NH_3 son reportados como letales en pocas horas para la mayoría de las especies piscícolas y valores que alcancen 0,05 ppm de NH_3 y se mantengan por varios días son considerados como factor estresante con implicaciones en la salud de los peces o desencadenantes de otros problemas (Noga, 2010; Svobodová *et al.*, 2017; Boyd, 2017). El amoniaco es particularmente tóxico para el sistema nervioso, uniéndose en las células nerviosas a un metabolito llamado ácido α -cetoglutarico en el ciclo de Krebs y reduciendo la producción de ATP (energía para las células) (Svobodová *et al.*, 2017).

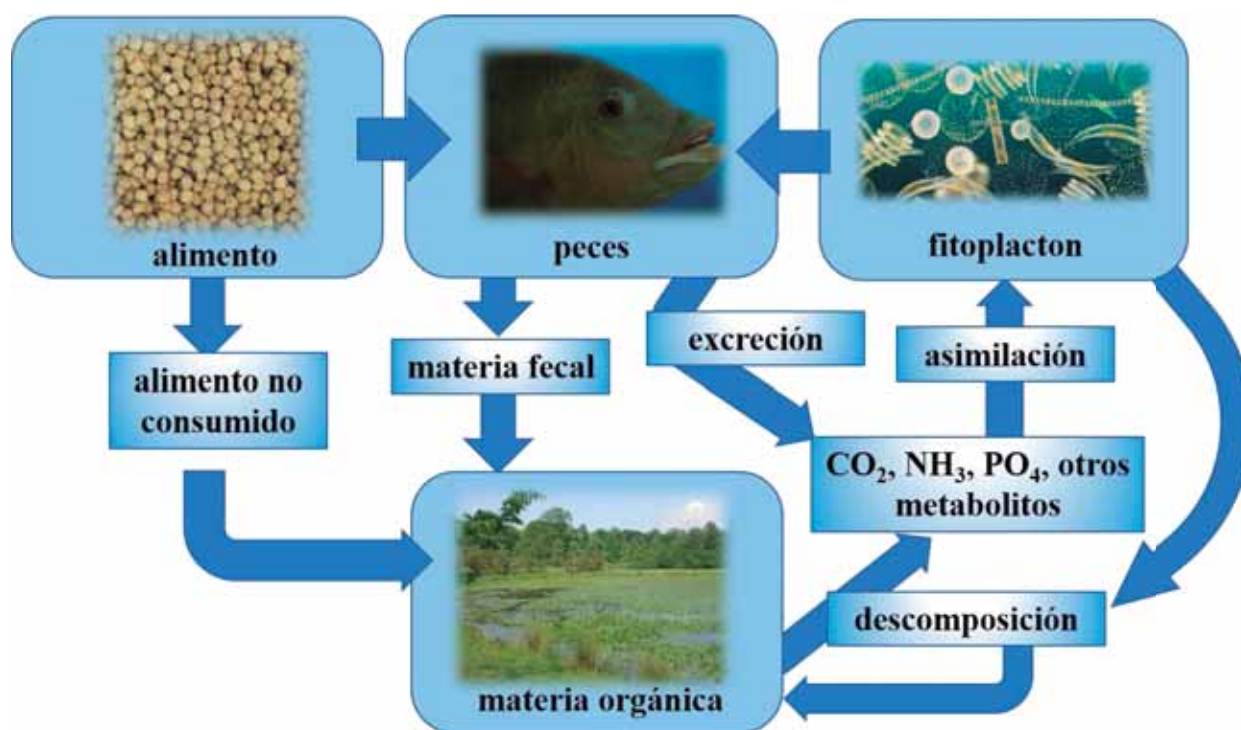


Figura 3. Ciclo del nitrógeno y de otros metabolitos en las aguas

Los sistemas químicos de medición usualmente detectan tanto el amoníaco no ionizado (NH_3) como el ionizado o ion amonio (NH_4^+). La prevalencia en el agua de una u otra de estas dos especies químicas es dependiente del pH y de la temperatura (Pitter, 1981). El amoníaco ionizado (NH_4^+) es la forma principal como este desecho nitrogenado es transportado en la sangre de los peces para su excreción. Ya en el tejido branquial es eliminado como NH_3 , lo cual se facilita si el gradiente de concentración promueve el flujo desde el interior del pez hacia el agua, es decir, si el amoníaco presente en las aguas está a una menor concentración que la presente en el pez o ni siquiera es detectable químicamente. El pH con tendencia hacia la alcalinidad (por encima de 7,5) en el agua facilitará que el amoníaco se mantenga en la forma no ionizada y promoverá la retención del amoníaco endógeno producido por el pez, llevándolo a una intoxicación (Svobodová *et al.*, 2017; Boyd, 2017). En la determinación precisa del valor de NH_3 en las aguas es necesario entonces recurrir a una tabla que muestra la fracción presente en las aguas según la temperatura y el pH de las mismas. Es importante revisar con cuidado si la tabla está expresada como fracción decimal o porcentaje. En el primer caso, los cálculos se hacen directamente con el número que aparece al cruzar la columna de la temperatura con la fila del pH correspondiente. En el segundo caso, al valor de $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ encontrado al hacer el análisis, se le calcula el porcentaje que aparece al hacer la

misma intersección entre temperatura y pH. La Tabla 3 que se presenta a continuación es ilustrativa de sólo un grupo de temperaturas y valores de pH. La tabla completa con varios rangos de temperatura y pH se puede revisar en textos de calidad del agua o buscarla en *calculadores de amoníaco* como los que se pueden consultar en <http://fisheries.org/hatchery> (Boyd, 2017).

Tabla 3. Proporción de NH_3 expresada como porcentaje de amoníaco + amonio y dependiente de la temperatura y el pH de las aguas (Tomada y adaptada de Svobodová *et al.*, 2017)

pH	Temperatura del agua (° centígrados)			
	5	10	15	20
7,0	0,12	0,175	0,26	0,37
8,0	1,19	1,73	2,51	3,62
9,0	10,73	14,95	20,45	27,32

A manera de ejemplo, si el valor total de amoníaco + amonio en las aguas alcanza una concentración de 8 ppm (partes por millón) a una temperatura de 15°C y un pH de 7,0, la concentración definitiva de NH_3 se calculará, como sigue:

$$8 \text{ ppm} \times (0,26 / 100) = 0,0208 \text{ ppm de } \text{NH}_3$$

Este valor se obtiene de multiplicar el resultado obtenido de las dos fracciones mediante el método químico (8 ppm) por el número que aparece en la tabla al cruzar los valores de pH y temperatura (0,26) y luego dividir entre 100.

En lo referente al ion nitrito (NO_2^-), las concentraciones que llevan a efectos tóxicos para los peces están en rangos más amplios que los del amoníaco y dependen de las especies involucradas. Dentro de las más susceptibles están los salmónidos y los peces gato, a los cuales se sugiere sean mantenidos en aguas con valores inferiores a 0,5 mg/L (ppm) de nitrito (Russo *et al.*, 1974; Svobodová *et al.*, 2005). Estas especies están reportadas como las más susceptibles. Pero también hay especies mucho más resistentes a la presencia de nitrito, como es el caso de la cachama blanca (*Piaractus brachipomus*, *P. orinoquensis*), según lo evidenciado por investigaciones hechas por nuestro grupo de investigación en el pasado. Esta especie expuesta a una concentración de 35 ppm de NO_2^- , expresado en forma del N ligado al ion (N-NO_2^-), mostró una mortalidad del 6,6 % en un período de 96 horas, lo cual indica una resistencia mucho mayor que la de salmónidos y silúridos, en general (Ochoa *et al.*, 2002). Especies como la tilapia roja y la nilótica (*Oreochromis* sp. y *Oreochromis niloticus*, respectivamente) estarían en posiciones intermedias entre salmónidos como la trucha arcoiris y carácidos como la cachama. Para las tilapias se han registrado valores de CL50 de

16 ppm de N-NO_2^- (Palacheck y Tomasso, 1984).

El principal efecto tóxico del nitrito está asociado con el desarrollo de metahemoglobinemia (oxidación al estado férrico, Fe^{3+} , del hierro de la hemoglobina). Esto hace que la capacidad de asimilación y transporte del oxígeno por parte del pez se vea seriamente reducida, lo cual se manifiesta en una coloración muy oscura de la sangre y mucosas visibles, color “achocolatado” de la sangre (Svobodová *et al.*, 2017 y Boyd, 2017).

La salinidad de las aguas es un factor relacionado fuertemente con la intoxicación por nitrito. El ion cloruro (Cl^-) compite con el ion nitrito (NO_2^-) en las aguas, lo cual hace que la intoxicación con nitrito sea mucho menos probable en peces de aguas salobres o saladas comparado con lo que se presenta en peces de agua dulce. Las células de cloruro o ionocitos, presentes en las branquias de los peces, pueden transportar tanto el uno como el otro, dado que la naturaleza iónica de los dos aniones es igual, es decir, carga de 1(-) (Svobodová *et al.*, 2017).

Los reportes del efecto tóxico del nitrato (NO_3^-) son mucho más escasos en peces. Los valores que pueden llevar a intoxicaciones en peces con NO_3^- son mucho más altas que las de NO_2^- y por ello son responsables de un menor número de episodios de intoxicación en organismos acuáticos. Las concentraciones que se han registrado y causan intoxicación están por encima de 300 ppm (partes por millón), lo cual es poco probable que se de en el ambiente de un sistema productivo (Masser *et al.*, 1999).

Sulfuro de hidrógeno (H_2S)

El sulfuro de hidrógeno representa el mayor estado reductivo del azufre en las aguas. El ion sulfato (SO_4^{2-})

es un componente natural de las aguas y su concentración por debajo de 250 ppm se considera como no causante de problemas para los peces y para otras especies (Weiner, 2008). Sin embargo, bajo condiciones hipóxicas, el sulfato inicia un proceso reductivo que lo lleva hasta la formación del H_2S . Este ambiente reductivo es más factible de encontrar en los fondos de los estanques y poco probable en sistemas como canaletas o jaulas en sistemas abiertos. Este compuesto inhibe la fosforilación oxidativa en los peces, lo cual impide el uso de energía por parte de éstos, en un efecto similar al ya visto en la hipoxia por déficit de oxígeno disuelto. El H_2S es extremadamente tóxico para los peces de agua dulce con concentraciones letales que están en un rango entre 4,2 y 34,8 $\mu g/L$ (partes por billón). La EPA (Agencia de Protección Ambiental en Estados Unidos) reporta una concentración de 2 ppb como el máximo nivel permitido y considerado como seguro para los peces (Boyd, 2017).

Sólidos Disueltos (SDT) y Sólidos Suspendedos Totales (SST); Turbidez, Conductividad y Salinidad

Estas variables están directamente interrelacionadas. Son importantes porque pueden ser responsables de algunos eventos que alteran la salud y el desempeño productivo de las especies en sistemas de acuicultura.

El término *Sólidos Totales*, con referencia a la CA, es la sumatoria del material que está solubilizado en el agua (*sólidos disueltos*, SDT) y el que no lo está (*sólidos suspendidos*, SST). Los sólidos afectan la CA de varias formas. Un alto nivel de *sólidos disueltos* puede alterar el sabor del agua y causar un efecto laxante en especies terrestres, especialmente. Por su parte, los *suspendidos* alteran especialmente las formas de vida acuática por causar efectos abrasivos en piel, obstrucción de la superficie del tejido branquial y además afectar la [OD], ya que disminuyen la tasa de fotosíntesis en el agua, al incrementar la turbidez y disminuir la penetración de la luz solar. Los *sólidos suspendidos* incluyen arcillas, limo, óxidos de metales, sulfuros, microalgas, hongos y bacterias. Son removidos mediante floculación y filtración. Por su parte, los *disueltos* agrupan minerales y sales disueltas, ácidos húmicos, taninos, entre otros. En aguas naturales, los elementos que conforman los sólidos disueltos suelen ser las sales de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos (Romero, 2002; Weiner, 2008).

La *turbidez* es la propiedad óptica asociada con la dispersión o interferencia de los rayos luminosos al penetrar el agua. Se mide con un turbidímetro, el cual expresa sus resultados en unidades nefelométricas (NTU) (Romero, 2002). En los sistemas acuícolas los

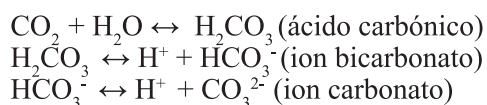
principales elementos que contribuyen a la turbidez del agua son las partículas de suelo que ingresan con el agua que abastece a los sistemas, el alimento no consumido y la materia fecal. En los estanques las algas también contribuyen en importante medida con la turbidez (Colt y Tomasso, 2001).

La *conductividad* es la expresión numérica de la habilidad del agua para transmitir una corriente eléctrica y es dependiente de la concentración total de los componentes ionizados y de la temperatura a la cual se haga la determinación (Romero, 2002). Por su naturaleza misma, la conductividad tiene una correlación alta con el contenido de SDT. Las unidades utilizadas para expresarla son los mhos / cm o siemens / cm (1 mho = 1 siemen). Cuando los valores son muy pequeños es más conveniente expresarla en microsiemens ($\mu siemens / cm$). El agua destilada y dulce tiene una conductividad de 0,5 a 2,0 $\mu mhos / cm$. La correlación entre la conductividad y los SDT permite tomar el valor de conductividad expresado en $\mu mhos / cm$ y multiplicarlo por un factor que oscila entre 0,55 y 0,70, para obtener los SDT en partes por millón (Romero, 2002; Weiner, 2008).

El término *salinidad* es a veces confundido y su uso intercambiado erróneamente con el término *sal*. La *salinidad*, según lo describe Sverdrup y colaboradores desde el año 1942, hace alusión a todo el material sólido disuelto presente en agua de mar (Colt y Tomasso, 2001). La *salinidad* se expresa en g / Kg o partes por mil (en español se prefiere usar la abreviación ppt del inglés para evitar la confusión con ppm, partes por millón y se representa con el símbolo ‰). En la mezcla de material disuelto que representa la salinidad de las aguas se reportan hasta 66 elementos diferentes (Bowen, 1966). Por su parte el término *sal*, se refiere simplemente a las sales cloruro de sodio ($NaCl$) o cloruro de calcio ($CaCl_2$) presentes en el agua (Colt y Tomasso, 2001). El agua de mar tiene una salinidad alrededor de las 35 ppt, mientras que el agua salobre o estuarina va desde 0,5 ppt hasta 35 ppt. El agua dulce se define como aquella que tiene hasta 0,5 ppt de salinidad.

Alcalinidad

La alcalinidad de las aguas es su capacidad para neutralizar la presencia de ácido o llegada del mismo como contaminante (Boyd, 1979). Esta propiedad está dada por la concentración de carbonato (CO_3^{2-}) y bicarbonato (HCO_3^-). Estos dos a su vez son dependientes de la concentración de dióxido de carbono (CO_2) y del pH de las aguas. Las interrelaciones entre éstos se basan en las reacciones de equilibrio que se presentan a continuación (Weiner, 2008):



Cuando el pH se incrementa por encima de 10,3, el ion carbonato (CO_3^{2-}) es la especie dominante. Por debajo de 6,3, es el CO_2 disuelto el que prevalece y entre 6,3 y 10,3 (el rango para la mayoría de aguas naturales) favorece la mayor concentración de bicarbonato (HCO_3^-).

En aguas superficiales, valores de alcalinidad inferiores a 30 mg/L se consideran bajos y valores mayores a 250 mg/L, altos. Este variable permite amortiguar los efectos de un pH ácido y el efecto tóxico de varios metales al formar complejos o quelatos con éstos. Las unidades para expresarla son partes por millón de CaCO_3 (Weiner, 2008).

Dureza

La dureza de las aguas está dada por la presencia de cationes divalentes (2^+). Sin embargo, el calcio y el magnesio son los que aportan en mayor proporción para esta medición. Tiene similitudes con la alcalinidad en cuanto a que es dependiente de varios elementos y a que es expresada con las mismas unidades. Sin embargo, la dureza depende de cationes mientras que la alcalinidad es el resultado de la presencia de aniones. La dureza y la alcalinidad también se asocian con el concepto de SDT ya que calcio, magnesio, carbonato y bicarbonato son a menudo la mayor parte de los sólidos disueltos totales (SDT) del agua (Romero, 2002; Weiner, 2008).

Contaminantes químicos del agua

Los contaminantes químicos que pueden alterar la calidad del agua en los sistemas de acuicultura provienen de fuentes diversas. Entre éstas se encuentran: hidrocarburos del petróleo (crudos o productos refinados), desechos de la industria, efluentes provenientes de actividad minera, plaguicidas, aguas servidas no tratadas provenientes de asentamientos humanos o de uso pecuario, entre otros (González *et al.*, 2014). El agua representa para los contaminantes el solvente adecuado que los vehiculiza para luego ser absorbidos por parte de los organismos que se abastecen de las aguas alteradas en su composición ideal. A su vez, la presencia de los contaminantes como componentes indeseables de las aguas originan dos tipos de exposiciones para los organismos acuáticos: 1) los accidentes causados por descargas usualmente masivas de contaminantes en zonas entre otros) y 2) disposición de los contaminantes en cuerpos de agua a bajas concentraciones, pero de forma constante en el tiempo, ya

sea en uno o varios puntos de descarga. En el caso particular de Colombia vale recordar que los contaminantes más prevalentes están ligados a las actividades económicas, prácticas culturales y el grado de eficiencia en el manejo de aguas residuales.

Colombia tiene una comercialización importante de plaguicidas superando históricamente los promedios de otros países de América Latina (ICA, 2016). En el período 2013-2016, los departamentos de Colombia con mayor uso de plaguicidas fueron Cundinamarca con el 37,6%, Nariño con el 15,7% y Valle con el 14,1% (IDEAM, 2019).

En la actividad minera y extracción de petróleo, por su parte, ha habido un impulso importante por parte de los planes de desarrollo de los últimos gobiernos, particularmente en lo relacionado con la extracción de oro y carbón (Ponce, 2012), pero al mismo tiempo muchas inquietudes y oposición por el riesgo de contaminación de acuíferos con la actividad misma. En el sector de hidrocarburos y concretamente en la extracción petrolera, la Agencia Nacional de Hidrocarburos ha indicado que el país ha alcanzado en épocas recientes la cifra de un millón de barriles producidos al día (<http://www.anh.gov.co>), lo cual también aumenta los riesgos de contaminación ambiental durante el proceso extractivo y la conducción a través de oleoductos.

Aunque Colombia no está dentro de los países con gran desarrollo industrial, en los últimos años los índices de producción del país presentados por el Banco de la República han mostrado mejoras en esta área, y al mismo tiempo, los riesgos de que efluentes mal manejados o no tratados de las industrias alteren la calidad de las aguas (<http://www.banrep.gov.co/es/produccion>).

En el campo de manejo de aguas residuales o servidas municipales, desafortunadamente la disposición de éstas no es la más adecuada, según lo indicado por el propio Viceministerio del Agua y Saneamiento Básico, ya que sólo el 9% de las aguas residuales del país son tratadas adecuadamente, lo cual hace que el mayor porcentaje de las mismas termine contaminando ríos, quebradas y otros cuerpos de agua del país (IDEAM, 2019).

Una revisión detallada de los efectos tóxicos en los peces por parte de estos tipos de contaminantes está más allá de los objetivos de este capítulo. Por ello al lector se le recomienda la revisión de textos especializados en toxicología acuática tanto libros de referencia como artículos publicados en revistas especializadas en esta temática.

Métodos de análisis, monitoreo e interpretación de resultados de la CA

Métodos de análisis de CA

La decisión sobre las metodologías, técnicas y variables de análisis de la CA a implementar en una explotación piscícola puede tomarse luego de considerar varias opciones. En cualquier caso, el mantener el análisis de la CA como un procedimiento sistemático y regular en el tiempo, permite establecer registros históricos y tomar medidas correctivas para restablecer las mejores condiciones en el cultivo. Las principales alternativas son: 1) el análisis periódico del mayor número posible de variables que caractericen la calidad del agua tomando muestra directa de la fuente, 2) la automatización de sistemas que mediante sensores miden en tiempo real parámetros críticos y 3) Uso de variables representativas y de índices de CA (WQI).

A continuación, se describen en mayor detalle cada una de estas opciones.

1) *Análisis del mayor número posible de variables físico-químicas con toma de muestras en la fuente.* Es la forma tradicional y más usada para hacer una evaluación integral de la CA. En esta opción se escoge un número de variables que es dependiente de los medios con los que se cuente para el montaje de las pruebas en un laboratorio de la granja o que puede depender de las opciones que ofrezcan los kits comerciales disponibles en el mercado. También es posible que los análisis escogidos sean contratados en laboratorios externos que presten este servicio. En la medida en que más variables sean incluidas en la batería de pruebas, más costos y tiempo para la realización de las pruebas deben considerarse por parte del piscicultor.

Los análisis periódicos de las variables de CA y de los contaminantes presentes se pueden realizar con varios tipos de metodologías. La escogencia de éstas depende fundamentalmente de dos factores: 1) la disponibilidad de recursos para implementar las pruebas como una práctica sistemática en el sistema productivo y 2) la formación y capacitación del personal que se encargará de esta función. Para el primer factor es importante que el acuicultor se conciente frente a la necesidad de garantizar unos presupuestos destinados al análisis periódico de la CA. Si la intención es el montaje de un laboratorio en la granja, la inversión inicial implicará unos dineros para la compra de balanzas, material de vidriería, reactivos y otros equipos e insumos. La adecuación de las metodologías puede hacerse

a través de la validación de las técnicas estandarizadas cuyos protocolos con sus marchas analíticas están disponibles en la literatura. Uno de los textos de referencia más usados en el mundo por su descripción detallada y la presentación de pruebas con aceptación universal es el de Métodos Estandarizados para el Análisis del Agua (*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*) (AWWA, 2017), un texto que se actualiza periódicamente con nuevas metodologías desde su primera versión hace más de 100 años. La mención de este texto de referencia hace necesario abordar el aspecto del grado de capacitación o formación del personal encargado de realizar los análisis de CA en el lugar. Quienes consulten, validen y pongan en práctica la información sobre las metodologías a partir de esta fuente u otras de métodos estandarizados, deberán ser personas con entrenamiento en laboratorio y destrezas mínimas en pesaje de reactivos, preparación de soluciones y ejecución de marchas analíticas.

La segunda opción para implementar las pruebas de CA puede ser un complemento a lo que ya se planteó o una sustitución a la validación de los métodos. Se trata del uso de kits que han sido diseñados por varias casas comerciales para facilitar el trabajo, especialmente en situaciones de campo, y que sólo requieren seguir cuidadosamente los procedimientos que vienen explicados en los protocolos anexos. Estos kits no requieren la compra y uso de material de vidriería de los usados regularmente en laboratorio, ya que incluyen los elementos para hacer las pruebas y las indicaciones para los procedimientos. Varias casas comerciales con representación en todo el mundo ofrecen en el mercado estos kits (ej. Hach®, Tetra®, LaMotte®, entre otras) (Fig. 4). En el mismo sentido, el personal que puede llevar a cabo los procedimientos con los kits comerciales no necesita de un nivel de formación complejo en prácticas de laboratorio. Para las principales variables físico-químicas del agua también se dispone de equipos portátiles para manejo en campo que permiten obtener resultados con mayor precisión sin necesidad de envío de las muestras a laboratorios que hayan validado las pruebas de los métodos estandarizados. En cualquiera de los casos, lo más importante será saber interpretar los resultados de las pruebas de CA para poder tomar las acciones necesarias en el manejo del agua para beneficio del sistema y de los organismos cultivados.



Figura 4. Presentación de algunos de los kits comerciales y equipos portátiles. Se observan resultados para pruebas de pH, amoníaco total, nitritos y nitratos, cuya interpretación se hace comparando los colores desarrollados en los tubos con los impresos en el cuadro y en el disco

También es importante señalar que gracias al desarrollo tecnológico de equipos electrónicos los denominados *equipos de medición multiparámetro* son otra opción para hacer mediciones de CA. Estos son instrumentos con gran sensibilidad que al sumergir la sonda en el agua hace las mediciones en un tiempo muy corto

facilitando mucho la labor en campo. Estos equipos requieren una labor constante de calibración para garantizar resultados confiables (Fig. 5). Algunos de estos equipos miden simultáneamente un número importante de variables como oxígeno disuelto, turbidez, pH, conductividad, amoníaco, nitrito, ion cloruro, entre otros.



Figura 5. Ejemplo de dos modelos de equipos multiparámetro para análisis de calidad del agua en piscicultura

2) *Automatización de sistemas para medición de parámetros en tiempo real.* Es una metodología que ha sido implementado de varios años para acá por explotaciones comerciales muy tecnificadas y usualmente con grandes capitales invertidos. Puede hacerse para algunos parámetros como oxígeno disuelto, pH, temperatura, entre otros, y además combinar con las mediciones convencionales descritas en el punto anterior para medir otras variables. Estos sistemas son conocidos genéricamente como Sistemas de Soporte Computarizado y Automatizado para Análisis de Agua (AWACSS, por sus siglas en inglés) (Daoliang y Shuangyin, 2019). Estos permiten responder de inmediato, en particular cuando se da un cambio extremo en variables críticas para la vida de los animales como lo son el oxígeno disuelto, pH o temperatura. También suelen tener mecanismos acoplados para solucionar el problema detectado (ej. Inyección de oxígeno ante una hipoxia de las aguas). Con los años se han desarrollado metodologías para estos sistemas que no sólo permiten la medición en tiempo real de parámetros físico-químicos sino también de contaminantes orgánicos en concentraciones del orden de nanogramos/L de agua (Tschmelak y Proll, 2005).

3) *Uso de parámetros representativos y de índices de CA (WQI).* La primera opción que fue descrita para la valoración de la CA determina el uso de un número mínimo de 10 o más variables para poder hacer un análisis completo. Sin embargo, a mayor número de variables, mayores costos y tiempo dedicado. Por ello, varios investigadores han hecho intentos por reducir el número de variables a usar, escogiendo las que pueden ser representativas por sus características y sus correlaciones con otras variables, de una valoración como un todo de la CA. En un estudio de Zhongneng y Boyd (2016), ocho parámetros (sólidos sedimentables, turbidez, sólidos suspendidos, materia orgánica total particulada, clorofila *a*, fósforo total, demanda bioquímica de oxígeno y nitrógeno total) fueron medidos en 50 estanques de sistemas piscícolas. Un análisis de correlación mostró una significancia entre cada par de las 8 variables analizadas y al hacer los modelos de regresión, la variable de materia orgánica total particulada (POM) fue seleccionada como la que podía predecir con el menor porcentaje de error a las otras siete. Este tipo de análisis pueden, en la medida en que se afiancen, ser una alternativa más frecuente al futuro para el análisis de CA.

De otra parte, un Índice de Calidad del Agua (WQI, por sus siglas en inglés) se define como un instrumen-

to matemático que sirve para transformar grandes series de datos sobre CA en un indicador numérico que resume varios parámetros (dos Santos *et al.*, 2008; Daoliang y Shuangyin, 2019). La aplicación de estos índices debe estar sustentada en estudios que hayan demostrado con análisis de regresión y modelos matemáticos la conveniencia de uso de los parámetros seleccionados como indicadores de la CA como un todo. Estos métodos representan un ahorro en tiempo y dinero importante para el piscicultor. Especialmente han sido usados para monitoreo del impacto de los efluentes de granjas acuícolas sobre los cuerpos naturales que los reciben luego del uso de las aguas, siendo esto especialmente importante para garantizar el cumplimiento de las regulaciones ambientales en cada país.

Monitoreo e interpretación de resultados de CA

La periodicidad del monitoreo de la CA es dependiente de las variables analizadas. Algunas variables deberían medirse todos los días (oxígeno disuelto, temperatura, pH) y de hecho varias veces al día en los primeros días de consolidación o “maduración” de un sistema productivo. Una vez se estabiliza el sistema o se logra el equilibrio del ciclo del nitrógeno en un estanque, la medición de amoniaco/amonio y de nitrito puede hacerse semanalmente. Otras, se sugiere sean medidas cada dos semanas o mensualmente; por ejemplo, dureza, alcalinidad, sólidos disueltos, conductividad. Los cronogramas de análisis de CA son dependientes de las dinámicas de actividades y la organización de cada granja, lo importante es que los análisis sean ajustados y programados con una periodicidad cercana a lo ideal para poder contar con resultados confiables y que reflejen la situación de los sistemas de mantenimiento de los peces.

Para la interpretación de los resultados de los análisis de CA es muy importante tener presente que el concepto de CA es inherente a las exigencias de la especie de interés. Algunas aguas pueden arrojar resultados de CA no recomendables para una especie que es muy exigente en algunos parámetros, pero sí aceptables para otra especie. La interpretación de los resultados obtenidos con cada análisis de CA se fundamenta en la comparación de los resultados obtenidos con los rangos ideales que deben garantizarse para cada especie. Para algunas especies de interés en Colombia y que en el presente momento están dentro de las más cultivadas y producidas, la información en la literatura es abundante. Este es el caso de los híbridos de tilapia y la trucha arcoíris. Su alta producción global ha generado información profusa en varios lugares del mundo y por ello contar con tablas para comparar resultados es fácil. Para especies como la cachama blanca

y yamú, entre otras, la situación es diferente. No son muchos los reportes de calidad el agua para éstas en comparación con las primero mencionadas.

Una vez se dispone de las tablas o información para hacer la comparación con los resultados obtenidos en un análisis particular, se observa si los valores hallados son similares a las concentraciones tóxicas o letales de cada parámetro. Esto se conoce como la Concentración Letal 50 (CL50). Esta concentración indica la cantidad del compuesto tóxico presente por unidad de volumen del agua, generalmente se usa el litro, que determinará la muerte del 50% de la población. Aunque este dato es obviamente de interés, para un productor es necesario saber también con cuales concentraciones de un compuesto los animales empiezan a tener conversiones poco deseables, o manifiestan estrés con bajas en las expectativas de producción, sin que necesariamente haya muerte de ejemplares. Desafortunadamente para muchas de las variables fisico-químicas y especies piscícolas, se desconocen estos valores, como por ejemplo las denominadas NOEC (concentración más baja del compuesto a la cual no hay efecto tóxico) o la LOEC (la concentración más baja del compuesto en la cual ya hay un efecto indeseable en los animales). Si se logra contar con la información para un metabolito, una variable fisico-química u otro agente tóxico, la concentración de un compuesto que

no lleva ni a mortalidad de la población ni a efectos en la producción se denominaría la *concentración segura*, y se podría calcular obteniendo la raíz cuadrada de la sumatoria de NOEC y LOEC (Boyd, 2017):

$$\text{Concentración segura} = \sqrt{(\text{NOEC} + \text{LOEC})}$$

Para la interpretación de los resultados de la fisico-química del agua es muy importante analizar las interacciones entre todas las variables y los efectos de dichas interacciones sobre las poblaciones de peces y otros microorganismos presentes en el sistema. No sólo el análisis individual de cada variable permitirá hacer una valoración de la CA de un sistema productivo. La figura 6 muestra esquemáticamente algunas de las interacciones entre las principales variables del agua y sus efectos. A manera de ejemplo, si se toma la variable TURBIDEZ, viendo en la figura las relaciones que tiene con otros parámetros, puede hacerse el siguiente análisis cuando hay un aumento de esta variable:

>>> Si la turbidez del agua aumenta, también aumenta la temperatura del agua (mayor número de partículas en el agua absorben más energía, es decir aumento de la temperatura). El mayor aumento de la temperatura determina una menor concentración de oxígeno disuelto (expansión y dispersión de los gases en su medio).

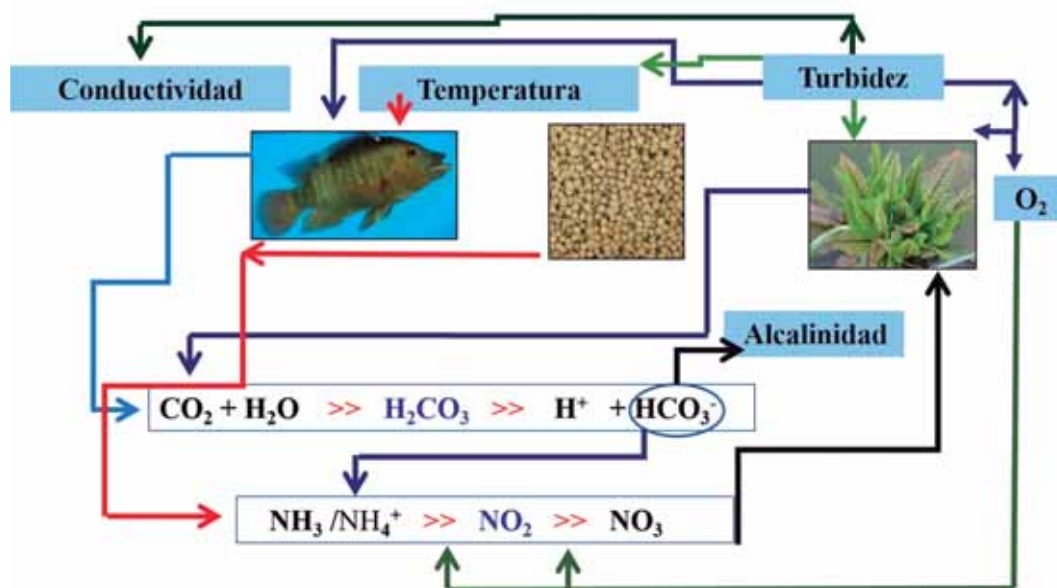


Figura 6. Interacciones entre las principales variables fisico-químicas del agua y sus efectos sobre peces y otros organismos

>>> Los dos anteriores hacen que se aumente la tasa metabólica de los peces (mayor tasa metabólica indica mayor consumo de oxígeno por parte del pez).

>>> La mayor turbidez también determina menor actividad fotosintética en el estanque (debido a una menor penetración de luz por el aumento en las partículas

no disueltas).

>>> La menor actividad fotosintética hace que se produzca menos oxígeno (esto hace más complicado la hipoxia de las aguas ya generada por los efectos antes mencionados).

>>> La mayor turbidez en el agua también puede llevar a un cúmulo de partículas no disueltas sobre el tejido branquial de los peces. Este material es una barrera para el intercambio gaseoso del tejido branquial con el agua, lo que lleva a mayor dificultad en la función respiratoria.

>>> La menor disponibilidad de oxígeno como consecuencia de varios de los procesos analizados hasta ahora también tendrá efectos en el ciclo del nitrógeno. Como se ha dicho, la nitrificación es un proceso fundamentalmente oxidativo que requiere de concentraciones mínimas de oxígeno disuelto. Una depleción de oxígeno disuelto lleva a acumulación de metabolitos nitrogenados (amoníaco y nitrito), lo cual puede intoxicar a los animales en forma agudas ó crónica.

Este mismo ejercicio puede hacerse con las otras variables, lo cual permite una evaluación más integral de los resultados de CA.

Medidas correctivas de la calidad del agua y manejo de vertimientos

Las medidas correctivas y el buen manejo de vertimientos producidos como efluentes del sistema productivo piscícola son elementos cuya implementación se complementa con el propósito de hacer una actividad piscícola productiva, con mínimo impacto ambiental y en cumplimiento de las regulaciones emanadas por las autoridades ambientales.

Medidas correctivas

El ajuste de las condiciones de CA de un estanque u otro sistema productivo piscícola es el proceso de implementación de las medidas correctivas que deben aplicarse para retornar o mantener los rangos ideales de CA. Las medidas correctivas o de ajuste de la CA pueden implementarse antes del uso del agua en el cultivo (pretratamiento), dentro del cultivo (proceso interno) o después de su uso en el sistema piscícola (post-tratamiento) (Colt y Tomasso, 2001) (Fig. 7). Se revisan a continuación los principales tipos de medidas correctivas para implementar en el tratamiento de aguas de un sistema piscícola desde la fuente de abastecimiento hasta la eliminación de efluentes.

Las medidas aplicadas al pretratamiento favorecen

que la CA esté dentro de rangos favorables desde la fuente de abastecimiento del sistema productivo, lo cual redundará en mejores condiciones para cumplir con las expectativas productivas de la explotación.

Algunas de las medidas correctivas a la calidad del agua y sus acciones concretas para llevarlos a cabo son:

- Aireación. La aireación es la adición de oxígeno disuelto al sistema y es uno de los procesos de rutina en acuicultura y piscicultura. La aireación se practica particularmente al sistema (proceso interno). Como pretratamiento se procura adecuar el diseño y la construcción del sistema para que se favorezca de la pendiente desde la fuente de agua y el flujo de la misma una vez es conducida o canalizada hacia el sistema.

La aireación puede hacerse a través de varios mecanismos. El más frecuente y económico es el uso de aireadores, dentro de los cuales se tienen aireadores de superficie con paletas, aireadores de difusión, motobombas, aireadores por gravedad. La aireación también puede lograrse mediante el suministro de oxígeno directamente (sistema de alta presión, oxígeno líquido y generadores de oxígeno *in situ*) (Pillay y Kuttu, 2005).

- Degasificación. La degasificación es necesaria si la fuente de agua es principalmente de origen subterráneo y se obtiene por perforación de pozos profundos. Para reducir una supersaturación de gases en el agua y prevenir una hiperoxia se usan sistemas de columna empacada los cuales son los más eficientes, pero incrementan los costos de adecuación del agua (Colt y Tomasso, 2001). Dentro de los gases que pueden causar saturación en las aguas previas a su uso están oxígeno, nitrógeno, metano e hidrógeno.

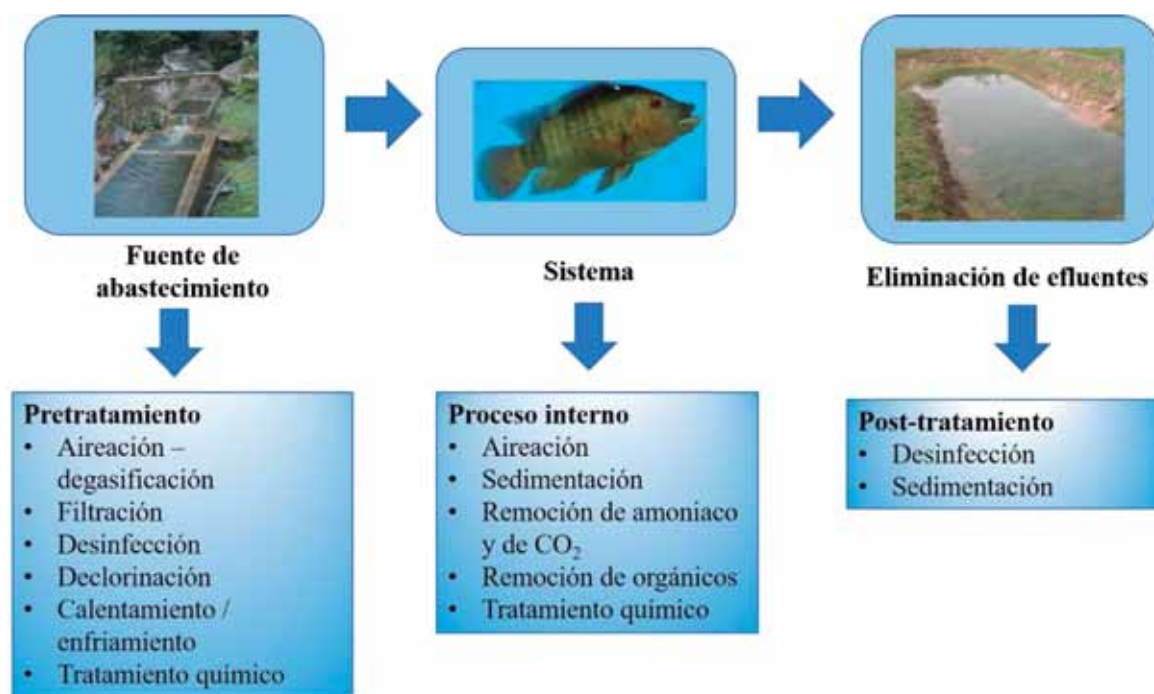


Figura 7. Tipos de medidas correctivas para la CA de un sistema piscícola

- **Filtración y remoción de sólidos.** Idealmente deben hacerse durante el pretratamiento (fuente), en el sistema (proceso interno) y previo a la eliminación de efluentes. Los principales sistemas de filtración son: filtración mediante arena, filtración con cartuchos, micro-rejillas (microtamices), sedimentación, uso de tierra diatomácea y precipitación con agentes químicos.

Especial mención requiere la sedimentación por gravedad (clarificadores). El diseño para acuicultura de un tanque de sedimentación es diferente al aplicado para sistemas de aguas residuales. Los desechos de la actividad piscícola suelen ser más densos, de precipitación más rápida y tienden a formar lodos viscosos y pesados. La tierra diatomácea puede remover algunas bacterias y parásitos y partículas entre 2 y 20 micrones. Los filtros de cartucho son especialmente útiles para purificar el filtrado proveniente de un sistema con arena o con tierra diatomácea. La precipitación química de sólidos es usada en particular para remover turbidez por arcilla y necesita ajustes en la química del agua ya que puede reducir el pH y la alcalinidad de las aguas (Colt y Tomasso, 2001).

- **Declorinación.** La adecuación de las aguas eliminando los excesos de cloro es muy importante dada la susceptibilidad de los peces a este elemento (Svobodová *et al.*, 2017). La concentración de cloro activo entre 0,04 y 0,2 mg/L se considera letal para la mayoría de peces (Fisher *et al.*, 1999).

La forma inicial de declorinar el agua es sin adición de químicos, simplemente permitiendo aireación e incidencia de luz solar por 2 ó 3 días antes de la adición de los peces. El carbón activado en forma granular también puede remover cloro libre. Es efectivo tanto en las aguas de ingreso al sistema como en las de los efluentes. Sin embargo, el sistema más eficiente es el químico mediante la adición de tiosulfato de sodio (Na₂S₂O₃) o de sulfito de sodio (Na₂SO₃). Este último es la forma más segura y se usa a razón de 2 mg de sulfito de sodio por cada mg de cloro residual a remover (Metcalf y Eddy, 1979).

- **Remoción de amoníaco.** El amoníaco es uno de los dos factores más limitantes junto al oxígeno disuelto para ofrecer una CA adecuada a un sistema piscícola. La base para la eliminación del amoníaco es un ciclo de nitrificación en equilibrio dentro del sistema. Es decir, el ciclo que permite a las poblaciones bacterianas de *Nitrosomonas*, *Nitrospiras* y *Nitrobacter*, en condiciones adecuadas de oxigenación y temperatura, transformar las concentraciones de amoníaco hasta su estado mayor de oxidación, el nitrato. Sin embargo, hay métodos químicos como la adición de zeolitas especiales como la clinoptilolita que permiten al ser incluidos en los filtros del sistema (operación interna) o la salida (efluentes) reducir las concentraciones residuales que pudieran quedar luego de verificarse el ciclo natural (Colt y Tomasso, 2001). La capacidad de la clinoptilolita para remover

amonio está calculada en 22,4 a 28 mg de TAN (nitrógeno amoniacal total) por cada gramo de la misma (Klieve y Semmens, 1980).

- Encalamiento. Los procesos biológicos dentro de los sistemas piscícolas determinan una acidificación en las aguas y una fluctuación del pH diariamente. Si la alcalinidad de las aguas es insuficiente (< 30 ppm), la capacidad buffer se hace menos efectiva y pueden empezar a presentarse otros inconvenientes derivados de la acidificación *per se*. Una mayor alcalinidad también aumenta la disponibilidad de carbón inorgánico para la fotosíntesis, siendo esto último muy importante en los estanques fertilizados que deben garantizar la disponibilidad de alimento natural (Boyd, 2017).

El mejor indicador del nivel de encalamiento requerido en las aguas es el pH del sedimento y debería considerarse un análisis de éste en un laboratorio de suelos para poder determinar las necesidades (Han *et al.*, 2014). Las aguas con alta alcalinidad pero baja dureza total son propensas a valores altos de pH en las horas de la tarde (mayor riesgo de intoxicación con amoníaco), debido a la baja disponibilidad de ion calcio para reacción con el carbonato, que a su vez se incrementa cuando el fitoplancton usa bicarbonato como fuente de carbono. En este caso, el uso de sulfato de calcio, alrededor de 2 mg/L, permite aumentar la dureza en 1 ppm. En sistemas intensivos con altas tasas de alimentación, el amonio producido como resultado de la actividad reduce drásticamente la alcalinidad de las aguas. El bicarbonato de sodio es el compuesto más eficiente para encalar, usándolo a razón de 1 mg/L se genera un incremento en alcalinidad de casi 0,6 mg/L. Esto es más efectivo que el uso de la cal agrícola, la cual es poco soluble en el agua (Boyd, 2017).

Desinfección. La desinfección es el proceso mediante el cual las bacterias, virus, organismos esporulados y otros de esta naturaleza se reducen a una concentración de no riesgo; a diferencia de la esterilización la cual es un proceso más radical que destruye todo tipo de microorganismos.

El proceso de desinfección puede aplicarse tanto al ingreso de la fuente (pre-tratamiento) como a la salida (manejo de efluentes). El objetivo es prevenir la llegada o salida de organismos patógenos desde o hacia poblaciones silvestres en los cuerpos de agua. En el proceso interno, la desinfección puede ser requerida para tratamiento de ovas y larvas (Colt y Tomasso, 2001; Pillay y Kutty, 2005). Los tres procedimientos

más usados para desinfección son la luz ultravioleta (UV), la ozonización y el tratamiento químico. En esta última posibilidad, el agente más usado es el cloro, seguido de iodóforos y amonio cuaternario (Colt y Tomasso, 2001).

Manejo de vertimientos y efluentes

Cuando el proceso de medidas correctivas a la calidad del agua que acaba de ser discutido es implementado de la forma más completa en un sistema, se minimiza la intervención sobre los vertimientos y su manejo. Esto reduce los costos y disminuye el impacto sobre el ambiente, una de las metas de la práctica eficiente de la acuicultura y que hoy es de gran importancia en la evaluación integral de la eficiencia de los sistemas.

La generación de desechos y vertimientos de la acuicultura se ha convertido en una preocupación de salud pública mundial (Martins *et al.*, 2010). Cifras generadas en estudios hechos en Japón demuestran la trascendencia de este tema por el impacto ambiental generado. Suzuki *et al.* (2003) calcularon que la producción de 63.000 toneladas de pescado eran equivalentes, en cuanto a los desechos generados, a los emitidos por 5 millones de humanos concentrados en un asentamiento.

En términos generales se habla de dos tipos de desechos de la acuicultura/piscicultura: sólidos y disueltos. Los primeros son considerados los de mayor impacto ambiental y están constituidos fundamentalmente por alimento no consumido y sustancias no digeridas. Los principales componentes disueltos son el nitrógeno y el fósforo (Dauda *et al.*, 2019).

Las principales medidas adoptadas para manejos de efluentes y vertimientos de los sistemas piscícolas tratados en este capítulo se resumen a continuación.

Canaletas o raceways (Colt y Tomasso, 2001; Dauda *et al.*, 2019):

- Tratamiento de todos los desechos en tanques de sedimentación con un tiempo de retención recomendado entre 1 y 2 horas. Para flujos grandes en el sistema, este sistema requiere de un volumen significativo del tanque, el cual idealmente debe estar cubierto con concreto o asfalto para facilitar la evacuación de los lodos más fácilmente.

- Evacuación de desechos con doble sistema de drenaje para permitir la limpieza de las unidades alternadamente mientras se mantiene el flujo en una de éstas.

- En la tercera opción, se deja que los sólidos se precipiten al final de la canaleta. Una rejilla permite la retención de sólidos los cuales son descartados cada cierto número de días para mantener limpia la rejilla.

Estanques. Normalmente los vertimientos de los estanques sólo son descargados cuando se hace el drenaje de los mismos. Además, los procesos biológicos naturales dentro del agua de los estanques reducen la contaminación a partir de éstos. Los sistemas de Acuicultura Multi-trófica Integrada (IMTA, por sus siglas en inglés) permiten que confluyan otros sistemas y especies en las granjas, adicionalmente al sistema piscícola, para reducir y utilizar los desechos y vertimientos de los estanques. Los residuos de un sistema se pueden usar como fuente de energía para otros. Por ejemplo, el uso de moluscos y otros filtradores pueden permitir que una cantidad importante de material particulado de alimento no consumido por los peces pueda entrar a producir biomasa adicional (Chávez-Crooker y Obreque-Contreras, 2010; Dauda *et al.*, 2019).

Jaulas /Jaulones de sistemas abiertos. Al estar ubicados en sistemas de aguas abiertas como represas (Rio Prado, Betania), la disposición de materia fecal, alimento no consumido y otros desechos del sistema se da fundamentalmente por precipitación y sedimentación en los fondos. El manejo de esos sedimentos es impracticable. Estos sistemas son vistos con gran expectativa en el mundo frente a este aspecto ya que el diseño del sistema promueve cambios drásticos en las aguas como lo son la hipernutricación y eutroficación debido a las altas cargas de nitrógeno y fósforo que se acumulan en los fondos.

Las regulaciones en Colombia sobre manejo de vertimientos en aguas se rigen por Resoluciones del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como la 0883 de diciembre de 2018 (vertimientos a aguas marinas) y el Decreto Único 1076 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial con todo lo referido al uso del agua y manejo de vertimientos para acuicultura continental y otras actividades (MinAmbiente, 2015).

Referencias

- AWWA (American Water Works Association). (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd ed. Water Environment Federation. 1496 p.
- Bowen, H.J.M. (1966). Trace elements in biochemistry. Academic Press, New York.
- Boyd, C.E. (1973). Summer algal communities and primary productivity in fish ponds. *Hydrobiologia* (41):357-390.
- Boyd, C.E. (1979). Water quality in warmwater fish ponds. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn.
- Boyd, C.E. (2017). General relationship between water quality and aquaculture performance in ponds. Pp. 147-166. En: *Fish Diseases*. J. Galina (ed). Academic Press. 278 p.
- Boyd, C.E. y Tucker, C.S. (2014). Handbook for aquaculture water quality. Craftmaster Printer, Inc. Auburn, Alabama.
- Chávez-Crooker, P. y Obreque-Contreras, J. (2010). Bioremediation of aquaculture wastes. *Current Opinion in Biotechnology*. (21):313-317.
- Collins, G. (1984). Fish growth and lethality versus dissolved oxygen. En: Proceedings Specialty Conference on Environmental Engineering. June 25-27, ASCE, Los Angeles, California.
- Colt, J.E. y Orwicz, K. (1991). Modeling production capacity of aquatic culture systems under freshwater conditions. *Aquaculture Engineering*. (10):1-29.
- Colt, J.E., y Tomasso, J.E. (2001). Hatchery water supply and treatment. En: G. Wedemeyer. (Ed.), *Fish Hatchery Management* (pp. 91-196). 2nd Edition.
- Bethesda, EUA. American Fisheries Society. 733 p.
- CGR (Contraloría General de la República de Colombia). (2016). Informe sobre el estado de los recursos naturales y del ambiente 2015-2016. Contraloría Delegada para el Medio Ambiente. 252 p.
- Daoliang, L. y Shuangyin L. (2019). Water quality monitoring in aquaculture. In *Water Quality Monitoring and Management: Basis, Technology and Case Studies*. Pp. 303-328. Elsevier.
- Dauda, A.B., Ajadi, A., Tola-Fabunmi, A. y Akinwale, A. (2019). Waste production in aquaculture. Sources, components and managements in different culture systems. *Aquaculture and Fisheries*. (4):81-88.
- Diersing, N. (2009). Water quality: frequently asked questions. Florida Brooks National Marine Sanctuary, Key West, Fl.
- dos Santos, S., Moreira, A., Bisinoti, M., Gimenez, S. y Santos, M. (2008). Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. *Ecological Indicators*. (8):476-484.

Fisher, D., Burton, D., Yonkos, L., Turley, S. y Ziegler, G. (1999). The relative acute toxicity of continuous and intermittent exposures of chlorine and bromine to aquatic organisms in the presence and absence of ammonia. *Water Research*. (33):760-768.

Good, C., Davidson, J., Welsh, C., Snekvik, K. y Summerfelt, S. (2010). The effects of carbon dioxide on performance and histopathology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in water recirculation aquaculture systems. *Aquaculture Engineering*. (42):51-56.

González, J. F., Landines, M.A., Borbón, J., Correal, M.L., Sánchez Ch. y Rodríguez, L. (2014). Evaluación de algunos marcadores de exposición a contaminantes en tres especies de bagres colombianos (Pisces: Siluriformes). *Biota Colombiana* 15. (Supl. 1): 40-51.

Han, Y., Boyd, C. y Viriyatum, R. (2014). A bicarbonate titration method for lime requirements to neutralize exchangeable acidity of pond bottom soils. *Aquaculture*. (195):163-181.

<http://www.anh.gov.co> .Estadísticas-del-sector/sistemas-integrados-de-operaciones/estadísticas-de-producción. (consultada, 11/04/2019).

<http://www.banrep.gov.co/es/producción./es/estadísticas/índice-producción-industrial-ipp> (consultada, 05/05/2019).

ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). (2016). Estadísticas de comercialización de plaguicidas de uso agrícola 2015. Boletín Técnico.

IDEAM (Instituto de Estudios Ambientales). (2019). Estudio Nacional del Agua 2018. Bogotá: Ideam: 452 pp.

Klieve, J. y Semmens, M. (1980). An evaluation of pretreated natural zeolites for ammonium removal. *Water Research*. (14):161-168.

Landolt, M.L. (1975). Visceral granuloma and nephrocalcinosis in trout. In: Ribelin, W.E., Migaki, G. (Eds.), *The Pathology of Fishes*, University of Wisconsin Press, Madison. Pp. 793-801.

Martins, C., Eding, E., Verdegem, M., Heinsbroek, L., Schneider, O. y Blancheton, J. (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: a perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering*. (43):83-93.

Masser, M.P., Rakocy, J. y Losordo, T.M. (1999). Recirculating aquaculture tank production systems: management of recirculating systems. Publication # 452, Southern Regional Aquaculture Center. USDA, EUA.

Metcalf y Eddy, Inc. (1979). Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse. 2nd ed. McGraw-Hill, New York.

MinAmbiente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia). (2015). Decreto Único Reglamentario 1076 del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. 654 p.

Moran, D., Tubbs, L. y Stöttrup., J.G. (2012). Chronic CO₂ exposure markedly increases the incidence of cataracts in juvenile Atlantic cod *Gadus morhua* L. *Aquaculture*. (364-365): 212-216.

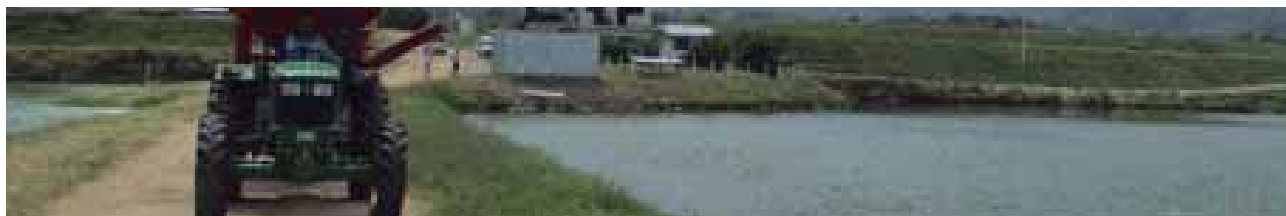
Noga, E. (2010). Fish Disease: Diagnosis and Treatment. 2nd ed. Wiley-Blackwell. 519 p.

- Ochoa, D.M., Peña, L.C. y González, J.F. (2002). Waterborne nitrite exposure in white cachama (*Piaractus brachipomus*). Revista Asociación Colombiana Ictiología (Dahlia). (5):27-31.
- Palacheck, R.M. y Tomasso, J.R.. (1984). Toxicity of nitrite to channel catfish, tilapia and largemouth bass: evidence for nitrite exclusion mechanism. Can. J. Fish. Aquat. Sci. (41):1739-1744.
- Pillay, T.V.R. y Kutty, M. (2005). Aquaculture: principles and practices. 2nd ed. Blackwell Publishing. 640 p.
- Pitter, P. (1981). Hydrochemie. SNTL, Praha.
- Ponce, A. (2012). ¿Cuál locomotora?. El desalentador panorama de la minería en Colombia. Debate. Bogotá, D. C. 219 p.
- Romero, J.A. (2002). Calidad del agua. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia.
- Russo, R.C., Smith, C.E. y Thurston, R.V. (1974). Acute toxicity on nitrite to rain bow trout. J. Fish. Res. Board. Can. (31):1653-1655.
- Suzuki, Y., Maruyama, t., Numata, H., Sato, H. y Asakawa, M. (2003). Performance of a closed recirculating system with foam separation, nitrification and denitrification units for intensive culture of eel: towards zero emission. Aquacultural Engineering. (29):165-182.
- Svobodová, Z., Máchová, J., Poleszczuk, G., Hóda, J., Hamáâková J. y Kroupová, H. (2005). Nitrite poisoning of fish in aquaculture facilities with water-recirculating systems. Acta Vet Brno. (74): 129-137.
- Svobodová, Z., Machova, J., Kroupova, H. y Velisek, J. (2017). Water quality-disease relationship on commercial fish farms. En: *Fish Diseases*. J. Galina (Ed). Elsevier Inc.
- Tschmelak, J. y Proll, G. (2005). Automated water analyser computer supported system (AWACSS). Part II: Intelligent, remote-controlled, cost-effective. Biosens Bioelectronics. (20):1499-1508.
- Weiner, E.R. (2008). Applications of Environmental Aquatic Chemistry: A Practical Guide. Boca Raton, EUA. CRC Press. 436 p.
- Zhongneng, X.y Boyd, C. (2016). Reducing the monitoring parameters of fish pond water quality. Aquaculture. (465): 359-366.

CAPÍTULO 3

NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN EN ACUICULTURA

DIEGO ALBERTO RODRÍGUEZ AVELLA¹



Introducción

La acuicultura mundial es una de las actividades pecuarias de mayor crecimiento en la última década y juega un papel crucial presente y futuro en el abastecimiento de proteína a la población humana. Colombia no es ajena a esta misma tendencia, reportando para el 2018 una producción nacional de 129.410 toneladas con un aumento del 100% en la producción nacional en los últimos 10 años y un crecimiento del 8% con respecto al año anterior y se espera que esta tendencia se mantenga, tanto por la disminución de la pesca de los mares y ríos como por el incremento en la demanda de productos de la acuicultura como resultado del aumento en la población y por la preferencia del consumo de pescado por encima de otras proteínas de origen animal ya sea por razones culturales o nutricionales por sus efectos benéficos sobre la salud.

La nutrición es el proceso mediante el cual un organismo obtiene los nutrientes necesarios para su crecimiento, mantenimiento y bienestar, como son aminoácidos, ácidos grasos, vitaminas, minerales y la energía necesaria para el metabolismo y otras funciones, a partir de la ingesta de alimentos, los cuales son sujetos a los procesos de digestión y posterior absorción, los nutrientes absorbidos serán transportados por el torrente sanguíneo hacia los órganos, tejidos y células individuales. Comparados con las especies terrestres, los peces tienen una alta eficiencia fisiológica para utilizar los nutrientes contenidos en la dieta, presentando un bajo valor de conversión alimenticia, además de reportar la menor huella hídrica y de carbono entre los sistemas de producción animal.

Desde el punto de vista de sostenibilidad, la minimización del impacto medio ambiental por parte de la acuicultura está estrechamente relacionada con el máximo aprovechamiento de los nutrientes contenidos en la dieta. Cuando se diseña un sistema de alimentación es necesario contar con un amplio conocimiento de los requerimientos nutricionales de cada especie de pez, su fisiología nutricional, la disponibilidad de los nutrientes de las materias primas y de las modificaciones físicas y químicas que sufren los nutrientes durante la fabricación del alimento, así como de la opción de adicionar una serie de aditivos funcionales que promueven por el aumento en la digestibilidad de algunos nutrientes específicos y otros que disminuyen el estrés inherente de la producción intensiva y de forma indirecta mejoran la absorción de nutrientes en general al modificar la respuesta inmune, la flora microbiana del intestino o la morfología de las células del intestino.

El nivel de conocimiento de la nutrición de organismos acuáticos es considerablemente bajo con respecto a otras especies terrestres dedicadas a la producción de proteína animal como pollos de engorde, otras especies avícolas, porcinos y bovinos. Sin embargo en las últimas tres décadas, el conocimiento en la nutrición de peces y crustáceos se ha incrementado notablemente, evidenciándose por el número de investigaciones, libros y artículos científicos publicados en revistas especializadas en acuicultura. En los últimos 10 años se han generado una serie de publicaciones de referencia con respecto a los requerimientos nutricionales de peces y crustáceos, como por ejemplo el compendio de Requerimientos Nutricionales de Peces y Camarones de la *National Research Council* - NRC de 2011, las Tablas Brasileiras

¹Zootecnista, Nutricionista Director Técnico Corporativo Línea Acuicultura. ITALCOL S.A. diegorodriguez@italcol.com

Para la Nutrición de Tilapia publicadas en 2010 y más recientemente desde 2015, la iniciativa denominada IAFFD (*International Aquaculture Feed Formulation Database*, www.iaffd.com), liderada por las distintas asociaciones de productores de soya de los Estados Unidos y el Laboratorio de Investigación en Nutrición de Peces de la Universidad de Guelph, donde se recopila información práctica de la composición de materias primas para acuicultura, así como los requerimientos nutricionales de las principales especies de peces y camarones de producción acuícola a nivel mundial.

Además de la fabricación de un alimento balanceado de alta calidad que cumpla con todos los requerimientos nutricionales necesarios para el crecimiento óptimo la especie a cultivar, este debe poseer características físicas como tamaño, densidad y estabilidad en el agua y deben ser palatables para garantizar el consumo del alimento, por esta razón cada empresa acuícola debe generar la información suficiente para desarrollar e implementar protocolos de alimentación, ajustados a

la especie y a la calidad de agua. Este último factor es muy importante ya que los parámetros de calidad de agua puedan afectar directa o indirectamente el consumo, la digestión y el metabolismo, es muy importante garantizar el nivel de oxígeno disuelto en el agua que asegura el óptimo metabolismo de los nutrientes, la temperatura del agua que tiene gran influencia sobre la tasa metabólica y el consumo, al tratarse de organismos poiquiloterms (Fig. 1) y en general es importante mantener en sus valores ideales todos los parámetros físico-químicos del agua. La adecuada implementación del plan de alimentación en la empresa piscícola debe estar enfocada en evitar que se presenten dos escenarios desfavorables: la subalimentación y la sobrealimentación, extremos indeseables que en el primer caso disminuye la tasa de crecimiento del pez, en ambos casos se incrementa la conversión alimenticia con la consecuente pérdida económica para la empresa y en el segundo caso el exceso de alimento se convierte en una fuente de contaminación del agua.

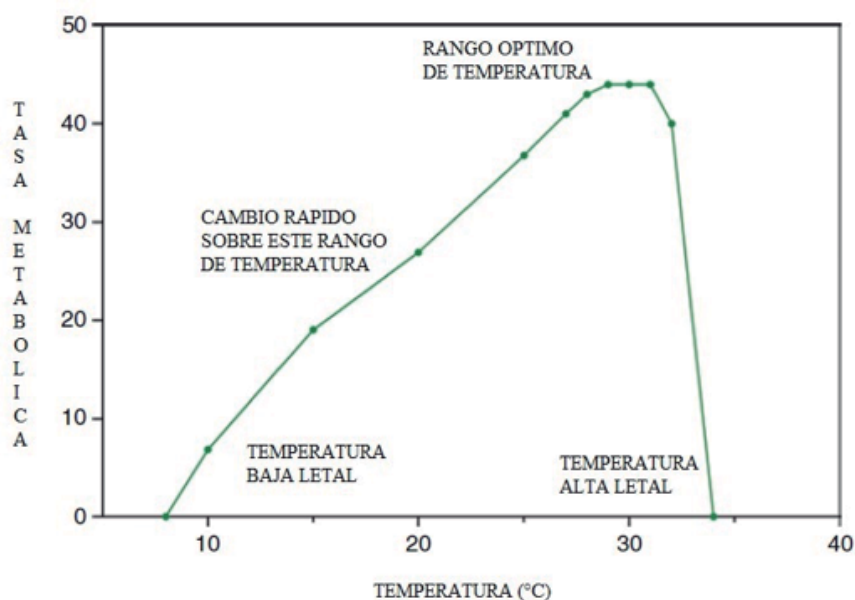


Figura 1. Tasa Metabólica en peces de aguas cálidas

Nutrición y Fisiología Digestiva

La nutrición puede definirse como la ciencia que interpreta la interacción de los nutrientes y otras sustancias contenidas en el alimento y su influencia en el mantenimiento, crecimiento, reproducción y salud de los animales. De acuerdo a esta definición la nutrición incluye: 1. Consumo de alimento; 2. Digestión, absorción, asimilación, biosíntesis y catabolismo de nutrientes; y 3. Excreción de metabolitos de desecho. De esta forma, la nutrición tiene una gran influencia en otras áreas relacionadas con la biología, fisiología, bioquímica, química de alimentos, inmunología, biología molecular,

farmacología, biología reproductiva y toxicología; teniendo como principal objetivo el mejoramiento de la sobrevivencia, crecimiento y salud de los peces al comprender su metabolismo y los roles de los nutrientes de la dieta.

Un nutriente es un compuesto o sustancia necesaria para soportar el mantenimiento, crecimiento, desarrollo, reproducción y salud de los peces. En la tabla 1 se encuentra una lista de los nutrientes requeridos por los peces. Un alimento es una materia consumible que contiene nutrientes. Los alimentos para animales pueden clasificarse como: 1. Forrajes secos; 2. Forraje verde; 3. Ensilajes (Ensilaje e hidrolizados de vísceras

y subproductos de peces y crustáceos); 4. Alimentos energéticos (maíz, arroz, trigo, aceites de pescado, soya, palma y otros) y 5. Alimentos proteicos (Harina de pescado, harina de vísceras de pollo, harina de carne y hueso, Torta de soya, gluten de maíz y otros). Aminoácidos sintéticos, suplementos minerales

suplementos de vitaminas y otros aditivos también pueden ser incluidos como materias primas dentro de una formulación para preparar las dietas completas para peces. Así, una dieta balanceada es la mezcla de materias primas que suplen los nutrientes requeridos por los peces.

Tabla 1. Nutrientes Requeridos por los Peces

Agua y Macronutrientes Orgánicos	Vitaminas y Minerales
Agua Carbohidratos Proteína – Aminoácidos - Alanina - Arginina - Asparagina - Aspartato - Cisteína - Glutamato - Glutamina - Glicina - Histidina - Isoleucina - Leucina - Lisina - Metionina - Fenilalanina - Prolina - Serina - Treonina - Triptófano - Tirosina - Valina Aminoácidos No Proteinogénicos: - Taurina Lípidos - Ácidos Grasos: - Ácido Linoleico - Ácido Linolenico - Ácido Araquidónico - Ácido Eicosapentanoico (EPA) - Ácido Docosahexanoico (DHA) - Fosfolípidos - Colesterol Fibras de Origen Vegetal - Necesarias para la salud y microbiota intestinal	Vitaminas - Hidrosolubles - Tiamina (B1) - Riboflavina (B2) - Niacina (B3) - Ácido Pantoténico (B5) - Piridoxina (B6) - Cobalamina (B12) - Biotina - Folato - Vitamina C - Colina - Mio-Inositol - Liposolubles - Vitamina A - Vitamina D - Vitamina E - Vitamina K Macrominerales - Sodio - Potasio - Cloro - Calcio - Fósforo - Magnesio - Azufre Microminerales - Hierro - Zinc - Cobre - Cobalto Yodo - Manganeseo - Selenio - Cromo - Molibdeno - Silicio - Flúor - Vanadio - Boro - Níquel - Estaño Esencialidad de otros minerales ultra traza (Bromo, Bario, Rubidio y Estroncio)

Los peces pueden ser clasificados según sus hábitos alimentarios en cuatro categorías, detritívoros (aquellos que consumen detritos orgánicos que se acumulan en el fondo del estanque), herbívoros (que consumen alimentos vegetales altos en fibra), omnívoros (se alimentan tanto de recursos vegetales como animales) y carnívoros (capturan organismos vivos como fuente de alimento). Dentro de cada una de estas categorías los peces pueden considerarse eurípagos, si se alimentan de una amplia variedad de alimentos; estenófagos, si se alimentan de una limitada variedad de alimentos; o monófagos, cuando se alimentan de un solo tipo de alimento. La mayoría de las especies dedicadas a la acuicultura en Colombia están dentro de las siguientes clasificaciones: Carnívoros- eurípagos, como la trucha arco iris (*O. mykiss*), pirarucú (*A. gigas*), bagre rayado (*P. fasciatus*) y en general los grandes bagres de las principales cuencas como el Magdalena, la Orinoquia y Amazonia; Omnívoros

- eurípagos, como las tilapias (*Oreochromis* spp.), cachamas (*P. orinoquensis* y *C. macropomum*), yamú ó sábalos (*Brycon* spp), pangasius (*P. hypophthalmus*) y en el grupo de detritívoros – eurípagos tenemos los bocachicos (*Prochilodus* spp.).

Existe una gran variación en cuanto a la anatomía y morfología del sistema digestivo entre las especies de peces, siendo uno de los grupos de animales más variables. De forma general el tracto digestivo puede ser dividido en parte anterior, donde se encuentra la boca, la faringe, el esófago y el estómago; parte media, localizándose en esta porción los ciegos pilóricos y el intestino anterior; y la parte distal, con el intestino posterior y el recto. La figura 2 ilustra las características generales del tracto digestivo de acuerdo a las cuatro categorías de hábitos alimentarios, mientras que la figura 3 ilustra de forma general la organización interna de los órganos de un pez.

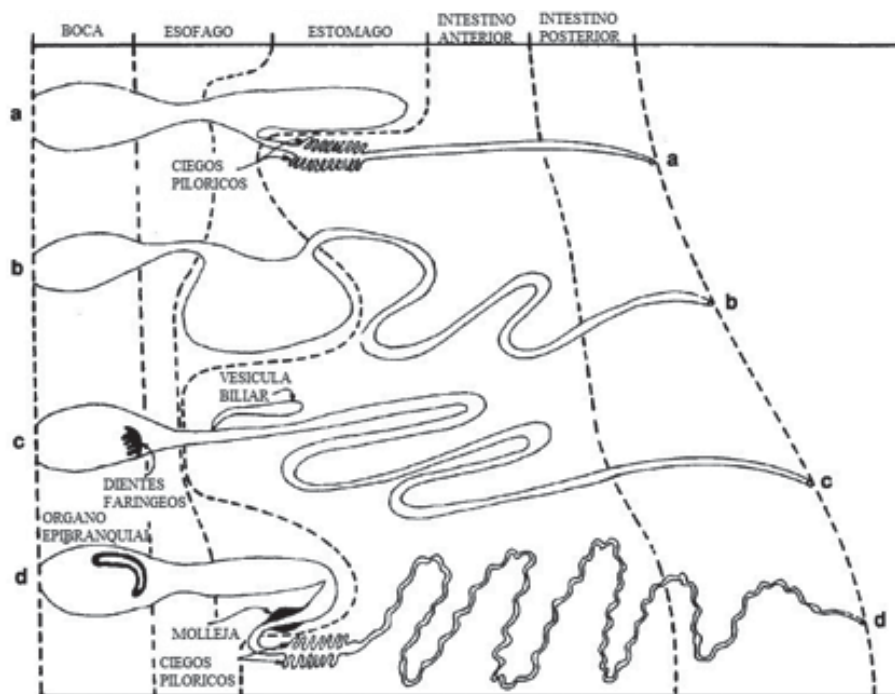


Figura 2. Representación de la Anatomía digestiva de los peces según su hábito alimentario. (a) Carnívoro – eurípagos (ej. Trucha arcoíris) (b) Omnívoro - eurípagos (ej. Tilapia, Cachama, Pangasius) (c) Omnívoro – eurípagos con tendencia herbívora, sin estómago (ej. Carpas) (d) Detritívoro – estenófago (p.e. Chanos chanos, pez marino). (Tomado de Smith, 1989)

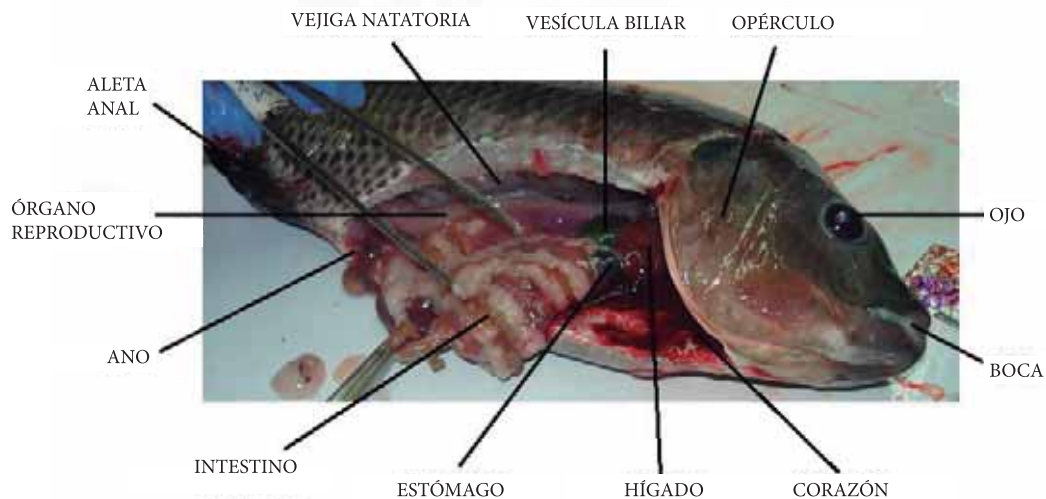


Figura 3. Organización general de los órganos internos de un pez

El tracto digestivo se encarga de descomponer el alimento consumido a sus estructuras bioquímicas básicas, las que una vez ya obtenidas pueden ser absorbidas por el pez para ser utilizadas en su propio organismo para las funciones básicas de mantenimiento, crecimiento y reproducción. En

los peces, su morfología sigue el mismo desarrollo básico que en otros vertebrados, viéndose reflejadas diferencias en cuanto al grupo genético, dieta y medio ambiente. En la tabla 2 se resumen las principales funciones de todas las estructuras del sistema digestivo.

Tabla 2. Principales Estructuras del Sistema Digestivo en Peces y sus Funciones en la Digestión

ESTRUCTURA	FUNCIÓN
Boca	Punto de recolección y/o captura del alimento, presenta una amplia variedad de adaptaciones: -Mandíbulas que se proyectan para envolver el alimento -Dientes para sujetar, raspar, ramonear y moler -Branquias modificadas para succionar -Rastrillos branquiales o branquiespinas, para filtrar fitoplancton (ej. Tilapias y cachama negra)
Esófago	Paso corto y simple al estómago, con músculos circulares y longitudinales que ayudan a la ingestión, revestido con células secretoras de moco que ayudan en la lubricación. En peces carnívoros, como la trucha, el esófago se distiende para permitir el paso de presas de tamaño grande

Estómago	Retiene el alimento para liberarlo lentamente hacia el intestino, sus paredes están revestidas con células que secretan ácido clorhídrico y pepsinógeno para las etapas iniciales de la digestión de proteínas, en el caso de peces de agua dulce inicia el proceso de emulsificación de grasas al secretar agua. Algunas especies como las carpas no poseen un estómago verdadero.
Ciegos Pilóricos	Estructura celular similar a la del intestino, absorción de nutrientes y secreción de enzimas para la digestión, están presentes en especies como la trucha, cachama, bocachico y yamú, su amplia área superficial se relaciona con una absorción eficiente de nutrientes.
Intestino	Secreción de enzimas para la digestión del alimento emulsificado, en este ocurre la digestión final de proteínas, que son desdobladas a aminoácidos, de lípidos, hasta obtener ácidos grasos y de carbohidratos hasta sus azúcares monómeros. En el intestino ocurre la absorción de la mayoría de los nutrientes y la recuperación de agua y enzimas. También es el encargado de descargar los desechos fisiológicos
Vesícula Biliar	Almacena y secreta la bilis hacia el intestino, junto con bicarbonatos, que participan en la emulsificación de las grasas y permiten la digestión y absorción de lípidos y de vitaminas liposolubles.
Páncreas	En peces no es un órgano compacto, se presenta en forma de gránulos difusos en el mesenterio, almacena y secreta bicarbonatos y enzimas digestivas como la tripsina, quimotripsina, carboxipeptidasa, elastasa, fosfolipasa, lipasa pancreática y amilasa pancreática
Hígado	Órgano central de la digestión, metabolismo, transporte y almacenamiento de nutrientes, participa también en procesos de detoxificación e inmunidad. Produce bilis (mezcla de agua, sales biliares, colesterol y bilirrubina), que es almacenada en la vesícula biliar, para su posterior liberación al intestino

Los microorganismos del tracto gastrointestinal también juegan un rol muy importante ayudando a la función digestiva y a la formación de una barrera para proteger a los peces en contra de invasiones patógenas; así, una microbiota intestinal saludable es esencial promoviendo la salud y bienestar del pez. Existen varios factores bióticos y abióticos que pueden modular la comunidad microbiana del tracto gastrointestinal de los peces, dentro de estos, la dieta suministrada puede tener un claro impacto en la microbiota intestinal, un ejemplo específico es el uso de torta de soya en dietas para salmónidos como la trucha, los cuales son

altamente sensibles a los factores antinutricionales que contiene, los cuales pueden modular las comunidades microbiales en el intestino posterior o distal, estos cambios junto con los ocurridos en el tejido intestinal limita los niveles de inclusión de esta materia prima para este tipo de especies. Existen también en el mercado productos a base de cepas probióticas que adicionadas al alimento son una fuente de bacterias benéficas para el intestino, también productos a base de fibras prebióticas que aportan desde la dieta el sustrato específico para el crecimiento y proliferación de bacterias ácido lácticas en el intestino.

Requerimientos de Nutrientes

Todas las especies de peces y crustáceos requieren para su óptimo crecimiento y bienestar dietas nutricionalmente balanceadas, las cuales deben contener cerca de 40 nutrientes esenciales, incluyendo proteína y aminoácidos específicos, lípidos y ácidos grasos, carbohidratos, vitaminas, minerales y energía (Tabla 1). El conocimiento exacto de los nutrientes requeridos por los peces permite ajustar la dieta al mínimo requerimiento para evitar pérdidas excesivas de nutrientes al medio. El estudio de los requerimientos nutricionales en la dieta de peces y camarones, ha sido basado en su mayoría en estudios comparables a los conducidos con animales terrestres. De esta forma, la mayoría de la información disponible sobre los requerimientos nutricionales de las especies acuáticas se deriva de ensayos de alimentación conducidos en laboratorio, en donde los animales son mantenidos en condiciones controladas y sin acceso a algún alimento natural (Rodríguez, 2011).

Proteína

La proteína es un nutriente indispensable para la estructura y función de todas las especies de peces, representa cerca del 70% del peso seco de la materia orgánica de los tejidos que componen a un pez, por lo tanto, el contenido de proteína es uno de los compuestos nutricionales más importante en las dietas de peces de cultivo. Debido a que este nutriente y sus aminoácidos que los compone se utilizan continuamente para el mantenimiento, crecimiento, y reproducción es necesario garantizar un adecuado consumo. El inadecuado consumo de estos conlleva a un retardo en el crecimiento ya que su utilización se privilegiara para el mantenimiento de funciones vitales. Del otro lado, un excesivo consumo puede resultar en una pérdida económica, ya que este nutriente que se considera el más costoso dentro del sistema de formulación de dietas balanceadas sería utilizado como fuente de energía (NRC, 2011). Las proteínas contienen carbono, hidrogeno, oxígeno y nitrógeno, algunas proteínas también pueden contener azufre, fosforo y hierro. La mayoría de las proteínas contienen alrededor de 16% de nitrógeno, así, el valor de proteína cruda es un producto obtenido mediante la determinación del nitrógeno contenido por el valor de 6,25 ($100\%/16\% = 6,25$). Las plantas generalmente contienen los mayores valores de proteína en los tejidos activos en crecimiento y en las semillas, mientras que los animales tienden a distribuir la proteína en diferentes tejidos, principalmente musculo, órganos, piel, escamas, plumas y huesos.

Generalmente se ha definido que los organismos tienen un requerimiento proteico, pero realmente el requerimiento es de una mezcla balanceada de aminoácidos esenciales y no esenciales; diez aminoácidos no pueden ser sintetizados por los vertebrados incluyendo los peces, y estos deben ser suplidos por la dieta, a estos se les llama esenciales y son: arginina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina. Los aminoácidos no esenciales pueden ser sintetizados por transferencia de un grupo amino al α -ceto ácido correspondiente, el cual puede provenir de fuentes no proteicas como la glucosa.

Cuando un aminoácido en particular es deficiente en la dieta se le conoce como limitante, ya que este impide la síntesis de una proteína, todos los aminoácidos necesarios para sintetizar una proteína deben estar disponibles o la síntesis no ocurrirá; por esta razón en nutrición de peces es muy importante la calidad de la proteína expresada en su disponibilidad biológica y en su contenido balanceado de aminoácidos. Dos ejemplos prácticos de materias primas altas en proteína pero desbalanceados son la gelatina y la harina de plumas, la primera carece por completo del aminoácido triptófano y la segunda presenta una muy baja digestibilidad, lo que ocasiona un pobre crecimiento cuando se incluyen en altas cantidades en las dietas de peces.

La mayoría de las proteínas son altamente digestibles, en los peces que tienen estomago el ácido clorhídrico secretado y la enzima pepsina inician la proteólisis. Una vez en el intestino, las enzimas secretadas al lumen como las tripsinas, quimotripsinas y carboxipeptidasas A y B terminan el rompimiento de las proteínas hasta sus unidades básicas, los aminoácidos. Los aminoácidos son absorbidos en el intestino, siendo más fácilmente absorbidos los L- aminoácidos que los isómeros de tipo D.

Existen varios factores que afectan el requerimiento de proteína en los peces:

- Tamaño, peces pequeños requieren más proteína que peces grandes.
- Calidad de la proteína en la dieta.
- Tasa de Alimentación, consumo no adecuado por una restricción alimenticia conlleva a un bajo crecimiento.
- Presencia de alimento natural, algunas especies con capacidad filtradora como tilapia y cachama negra, cultivadas a bajas densidades pueden

acceder a alimento natural que también contiene aminoácidos, pudiendo suministrarse un alimento con un nivel menor de proteína.

- Contenido de energía de la dieta, cuando el nivel de energía de la dieta es bajo, los peces usarán la proteína como fuente de energía, lo que es muy ineficiente metabólicamente y genera pérdidas económicas; caso contrario si la energía de la dieta es demasiado alta en relaciona su aporte de proteína, el pez cesa el consumo y no alcanza a cubrir su requerimiento de proteína.

Energía

La energía no es un nutriente, pero es una propiedad de los nutrientes que es liberada durante el metabolismo oxidativo de lípidos, proteínas y carbohidratos, los

cuales contienen 9,4, 5,6 y 4,1 kilocalorías por gramo, expresadas en energía bruta respectivamente. La energía es definida como la capacidad de hacer un trabajo, pero biológicamente hablando es actividad muscular y energía necesaria para las reacciones químicas corporales, requerida para movilizar moléculas en contra de un gradiente de concentración y otros procesos corporales. La energía consumida por el pez es particionada en varias fracciones en términos de la utilización del animal (Fig. 4). La energía Bruta (E.B.) es la energía liberada como calor cuando una sustancia orgánica es completamente oxidada a dióxido de carbono y agua, usando una bomba calorimétrica. El requerimiento de energía en peces ha sido reportado en términos de energía bruta (E.B.), energía digestible (E.D.) y de la relación de las anteriores con la proteína de la dieta (Rodríguez, 2011).

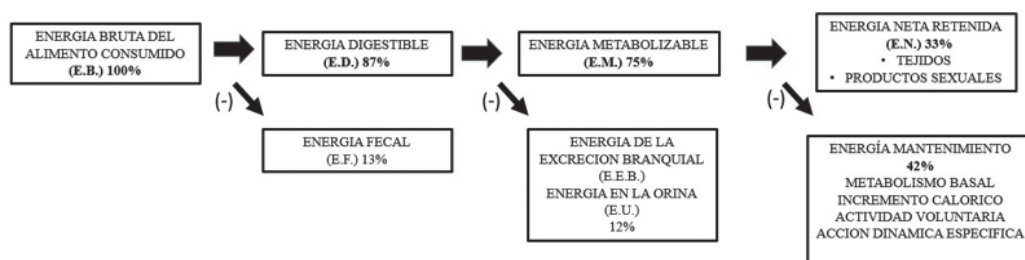


Figura 4. Diagrama Bioenergético de las vías de utilización y pérdidas de la energía derivada del consumo de los nutrientes de la dieta

Un correcto balance de energía es importante cuando se formulan dietas para peces, debido a que una cantidad elevada puede resultar en una disminución en el consumo de alimento, también, este exceso de energía en la dieta puede resultar en un incremento en la deposición de grasa. Los lípidos y los carbohidratos son las principales fuentes de obtención de energía por parte de los peces, aunque la proteína también tiene un aporte energético, este nutriente es considerado el más costoso en la formulación de las dietas de los peces, por lo que su uso para este fin sería ineficiente.

Aunque pareciera que los peces tienen un requerimiento alto de proteína con respecto a animales terrestres, en realidad los peces tienen un requerimiento bajo de energía, esto es debido principalmente a:

- Los peces no necesitan energía para mantener su temperatura corporal, ya que son poiquiloterms.
- Los peces viven en el agua, donde permanecen boyando en la columna de agua por lo que requieren menor actividad muscular para mantener su posición espacial.
- Los peces excretan cerca del 85% de los desechos metabólicos nitrogenados en forma de amonio

(NH₃) directamente a través de las branquias por difusión al agua.

Un exceso de energía en la dieta tiende a acumularse en forma de grasa en el pez, tanto corporal como visceral, y si este no alcanza a consumir la proteína y otros nutrientes necesarios disminuirá su tasa de crecimiento.

Lípidos

Los lípidos son una fuente concentrada de energía para los peces y el conocimiento de su utilización por cada especie es importante en la elaboración de dietas a bajo costo, ya que como fue mencionado anteriormente la proteína en exceso puede utilizarse como energía, siendo un nutriente muy costoso. La digestibilidad de los lípidos o grasas de la dieta, representado principalmente como triglicéridos, dependen principalmente de: concentración en la dieta, tipo de grasa utilizada, temperatura del agua, grado de insaturación y longitud de la cadena de carbono. Un grupo de lípidos denominados fosfolípidos son importantes en el mantenimiento de la estructura celular. Los lípidos también son precursores de hormonas y son necesarios para la absorción de algunas vitaminas. Los lípidos ejercen

una función como atrayente en dietas balanceadas y su composición en esta puede variar la composición de ácidos grasos del músculo del pez. Así como ciertos aminoácidos son requeridos para la formación de tejido de forma esencial, y deben ser suministrados en la dieta, también existen los ácidos grasos esenciales, los cuales no pueden ser sintetizados por los peces, de esta forma los lípidos además de ser una fuente concentrada de energía para los peces, también son fuente de estos ácidos grasos esenciales necesarios para un desarrollo y crecimiento normal. Los peces de aguas cálidas como la tilapia y la cachama requieren en su dieta ácidos grasos omega 6, principalmente ácido linoleico y linolénico, ambos ácidos grasos de 18 carbonos. Peces marinos o de aguas frías como la trucha arcoíris, requieren en la dieta ácidos grasos esenciales de tipo Omega 3 altamente insaturados, como son los ácidos grasos Eicosapentanoico (EPA) y Docosahexanoico (DHA), estos últimos de 20 y 22 carbonos respectivamente.

En los peces los ácidos grasos esenciales hacen parte de las membranas celulares y suelen ser precursores de otros compuestos químicos que tienen funciones a nivel metabólico. Los principales síntomas de deficiencias de ácidos grasos esenciales incluyen lesiones en la piel, vejiga natatoria subdesarrollada, escoliosis, síndrome de *shock*, problemas cardíacos (miocarditis), reducción en la tasa de crecimiento, aumento en la tasa de conversión alimenticia, bajo desempeño reproductivo e incremento en la mortalidad.

Carbohidratos

Aunque no existe un requerimiento como tal de carbohidratos para ninguna especie de pez, es importante explorar que peces pueden utilizar altos niveles de este nutriente como fuente de energía, debido a su menor costo y mayor disponibilidad. El principal carbohidrato presente en las dietas balanceadas de peces es el almidón, el cual se formula generalmente, además de su aporte de energía al pez, por sus características de aglutinación de los ingredientes de la dieta cuando es gelatinizado, por efecto de la temperatura y la humedad, durante el proceso de extrusión, y dependiendo de su inclusión se puede modificar la densidad final de la dieta, con el objetivo de que el producto final flote sobre la columna de agua, descienda lentamente o se vaya rápidamente al fondo dependiendo de la especie a alimentar. El almidón está constituido por unidades de glucosa y su estructura está compuesta de dos tipos uno de cadena lineal denominado amilosa y otro de cadena ramificada denominada amilopectina. El almidón es depositado por las plantas como reserva

energética para la planta o dentro de la semilla como fuente de energía para el embrión latente (diferente a los animales cuya reserva energética son los lípidos o grasas).

Los peces omnívoros de aguas cálidas, incluyendo la cachama y el yamú, pueden utilizar como principal fuente de energía altos niveles de carbohidratos dietarios, a diferencia de peces carnívoros como la trucha Arco Iris o especies marinas (NRC, 2011). La principal fuente de almidón son los cereales dentro de los que se destaca por su importancia en nutrición de peces el maíz, arroz, trigo y sus subproductos. En algunas regiones de Colombia también se utiliza la yuca como fuente de almidón, esta es una raíz y se cultiva principalmente para el consumo humano.

Vitaminas

Las vitaminas son sustancias orgánicas requeridas en pequeñas cantidades, esenciales para el crecimiento, mantenimiento, salud y reproducción; participan en una variedad de reacciones químicas en el cuerpo, incluyendo el metabolismo celular del resto de nutrientes de la dieta. Los peces al igual que la mayoría de los animales no pueden sintetizar vitaminas y si lo hacen es solo en pequeñas cantidades, debido a esto deben ser incluidas en la dieta, su requerimiento varía con respecto a la especie, tamaño, tasa de crecimiento, interrelaciones de nutrientes, ambiente (temperatura, oxígeno, elementos tóxicos) y función metabólica (crecimiento, respuesta al estrés, resistencia a enfermedades). Las vitaminas pueden dividirse en dos grupos: liposolubles e hidrosolubles, en el primer grupo está incluida la vitamina A, D, E y K; en el segundo la vitamina C, tiamina (B1), riboflavina (B2), ácido pantoténico (B3), piridoxina (B6), cianocobalamina (B12), colina, biotina, ácido fólico y niacina. Cada una de estas vitaminas tiene una función específica en el organismo y la correcta suplementación de cada una en la dieta determinará un óptimo desempeño productivo (Lovell, 1998). (Tabla 3).

Tabla 3. Principales funciones de las vitaminas y signos de deficiencia en peces

VITAMINA	FUNCIÓN	SIGNOS DE DEFICIENCIA
Vitamina A	Crecimiento, sanidad, visión, reproducción, secreción de mucosa (mucopolisacáridos), mantenimiento de epitelios diferenciados, reducción de la concentración de radicales peróxidos en tejidos.	Crecimiento reducido, piel pálida, fluido en la cavidad abdominal, exoftalmia, ojos hemorrágicos, desplazamiento del lente en el ojo, córnea fina, degradación de la retina y opérculo deformado.
Vitamina D	Vitamina D tiene una función en la mineralización del hueso. Deposición y remoción vía la formación de células formadoras de hueso, Absorción de Calcio y Fósforo, Regulación de niveles de Ca en el suero	Bajo crecimiento, Elevación de lípidos hepáticos. Mineralización de huesos, Homeostasis de Ca afectada (resultando en tétano muscular), Cambios estructurales de fibras musculares.
Vitamina E	Actúa como un antioxidante liposoluble, siendo la primera línea de defensa contra la peroxidación de membranas celulares y subcelulares	Distrofia muscular, falla (total o parcial) de los órganos reproductivos masculinos y femeninos, permeabilidad mayor de capilares (resultando en hemorragias y edemas), producción irregular de eritrocitos (indicado por varios tamaños y formas irregulares de las células), anemia extrema, susceptibilidad marcada al estrés, etc.
Vitamina K	Transporte de electrones y fosforilación oxidativa, reacciones requeridas en el metabolismo celular, Requerido para la síntesis de proteínas coagulantes, Parece ser necesaria para la activación de protrombina y proconvertina	Hemorragias en piel, Reducida coagulación sanguínea, Anemia.
Tiamina B1	Coenzima pirofosfato de tiamina : Funciona en la decarboxilación oxidativa de ácidos alfa ceto como el piruvato y el alfa ceto glutarato	Normalmente resulta en problemas neurológicos como la hiperirritabilidad y hemorragias subcutáneas. Niveles de la sangre y actividad transketolasa son buenas medidas del estatus de tiamina
Riboflavina B2	Funciona en coenzima flavín mononucleótido (FMN) y flavín adenín dinucleótido (FAD), Enzimas de reacciones de oxidación-reducción involucradas en el sistema de transporte de electrones	Anorexia, cataratas, sensibilidad a la luz, hemorragias en piel y aletas, y crecimiento reducido
Piridoxina B6	Requerido para una variedad de reacciones enzimáticas, Funciona en síntesis de neurotransmisores	Problemas nerviosos: nado errático, hiperirritabilidad y convulsiones

Acido Pantoténico	Componente de Coenzima A, responsable por las reacciones de transferencia de grupos acetilos, sintetasa acetil CoA y proteína acarreadora de acilo. Por ende, inhibe el metabolismo especialmente en células ricas en mitocondrias en periodos de crecimiento rápido o producción de energía.	Branquias deformes son el signo típico de deficiencia, fusión de lamelas y filamentos branquiales, anemia, exoftalmia
Niacina	Funciona en coenzima nicotidamina adenina dinucleotido NAD y NADP	Letargia, sensibilidad a la luz, coordinación reducida, exoftalmia, anemia, pérdida del apetito, hemorragias en piel y lesiones de aletas
Biotina	Funciona en ciertas reacciones como un acarreador intermediario de dióxido de carbono para las reacciones de carboxilación y carbodilación	Degeneración de las lamelas branquiales, anemia, hígado claro, desordenes nerviosos, incremento en la mucosa de piel, pérdida de apetito
Ácido Fólico	Coenzima ácido tetrahidrofólica la cual acarrea o transfiere un grupo de carbono de una molecula a otra.	Pérdida de peso, letargia, anemia, coloración oscura, inmunidad reducida
Cianocobalamina B12	Metabolismo de proteínas, Ayuda a la formación de glóbulos rojos en la sangre y al mantenimiento del sistema nervioso central.	Anemia, bajo apetito
Colina	No tiene función de coenzima. Fosfatidilcolina: función estructural en membranas biológicas y utilización de lípidos del tejido, Precursor de neurotransmisor acetilcolina, Precursor de betaina: Funciona como una fuente de grupos metil funcionales para reacciones de metilación (donador) interactuando con metionina.	Hígado graso, áreas hemorrágicas en hígado e intestino, baja eficiencia alimenticia
Inositol	Mio-inositol es la única forma química con actividad biológica. Componente estructural de membranas, Transducción de señales (sistema nervioso secundario), Secreción de amilasa, liberación de insulina, contracción de músculo liso, glicogenólisis del hígado, agregación de plaquetas y secreción de histamina.	Anemia, baja tasa de vaciado gástrico, estómago distendido, Erosión de aletas.

Vitamina C	No sintetizada por peces y crustáceos. Fuerte agente reductor. Cofactor en la hidroxilación de prolina y lisina a hidroxiprolina e hidroxilisina en procolágeno (precursor de colágeno). Requerido para la formación de tejido conectivo, tejido cicatrizante y matriz del hueso. Absorción de hierro. Reduce la peroxidación (con la Vitamina E y Se)	Escoliosis y lordosis: curvatura de la espina dorsal. Soporte anormal del cartílago del ojo, agallas y aletas. Hemorragias internas, Reduce inmunocompetencia, Signos no específicos: anorexia y letargia, acumulación de líquidos y exoftalmia hemorrágica, altos niveles de triglicéridos en el plasma y colesterol. Muerte súbita en el camarón
------------	--	--

Minerales

Los minerales son elementos inorgánicos encontrados en la porción de las cenizas de un alimento o de un tejido. Las necesidades de minerales para los peces, así como para la mayoría de animales son muy importantes para un normal desarrollo y crecimiento. Según los requerimientos expresados en cantidades pueden dividirse en dos grupos: macro y microminerales, estos últimos requeridos en cantidades muy pequeñas.

Dentro de las principales funciones de los minerales en el cuerpo del pez está formar parte de la estructura ósea, dentro de este sistema se encuentran: Calcio, Fósforo, Magnesio, Sodio y Potasio. Los minerales también forman parte de proteínas y lípidos, participan en la activación de algunas enzimas y manteniendo el equilibrio osmótico, como el Sodio, Potasio y Cloro. Algunos minerales como el Calcio pueden ser intercambiados entre los fluidos corporales y el agua que rodea al pez a través de las branquias (Tabla 4).

Tabla 4. Principales funciones de Minerales y signos de deficiencia en peces.

MINERAL	FUNCIÓN	SIGNOS DE DEFICIENCIA
Fósforo	El calcio y fósforo son dos de los mayores constituyentes inorgánicos de los alimentos, ambos son componentes estructurales de tejidos. El calcio es esencial para la coagulación de la sangre, función muscular, transmisión nerviosa correcta y osmoregulación. El fósforo es un componente de ADP, ATP, fosfolípidos, ADN, ARN y sirve en el sistema de control del pH	Bajo crecimiento y pobre mineralización ósea, calcificación anormal de huesos y radios de aletas; deformidades de cabeza; incremento en la grasa corporal y visceral, hígado graso.
Magnesio	Cofactor enzimático; funcionamiento muscular y nervioso; soporte al sistema inmune; componente del tejido óseo	Pobre crecimiento, baja condición corporal; letargia; flacidez de músculos, alta mortalidad
Hierro	Componente de varias proteínas, hemoglobina (requerimiento fisiológico principal), mioglobina y citocromos. Cofactor en varios sistemas de enzimas. Excretado con bilis hacia el intestino	Anemia
Cobre	Involucrado en la absorción de hierro y la formación de eritrocitos, componente de varios sistemas de enzimas	Inadecuado desarrollo óseo y de formación de colágeno

Yodo	Encontrado en la mayoría de las células del cuerpo. Glándula tiroide es la reserva principal de hormonas tiroideas, que contienen yodo, tienen funciones varias en el metabolismo, crecimiento, reproducción, funciones neuromusculares, etc.	Coto
Zinc	Cofactor en varios sistemas enzimáticos: Componente de metaloenzimas: Anhidrasa carbónica, Carboxipeptidasa A y B, Alcohol deshidrogenasa, Glutamato deshidrogenasa etc.	Disminución en el crecimiento y el apetito; erosión de piel y escamas; cataratas
Manganeso	Cofactor en el metabolismo de Aminoácidos, Ácidos Grasos y oxidación de glucosa.	Disminución del crecimiento, anormalidades de la aleta caudal; alta mortalidad embrionaria y baja tasa de eclosión.
Selenio	Funciona como un componente de la enzima glutatión peroxidasa; Actúa junto con la vitamina E como antioxidante biológico. Protege membranas celulares y subcelulares de daño peroxidativo. Protege contra la toxicosis de mercurio formando un complejo selenio-mercúrico.	Disminución del crecimiento, distrofia muscular
Sodio, Potasio, Cloro	Reconocidos como esenciales para un número de procesos fisiológicos (osmoregulación, balance de pH, transmisión de impulsos nerviosos)	Ninguno producido todavía

Los requerimientos nutricionales de las principales especies producidas en nuestro país, tilapia, cachama y trucha han sido descritas por varios autores, a continuación se presentan las tablas resumen publicadas por la NRC (2011), donde se presentaron los requerimientos nutricionales para las tilapia y trucha arcoíris (Tabla 5). Furuya (2010), publicó un compendio denominado Tablas Brasileñas de Nutrición de Tilapia, a partir de una revisión de las investigaciones realizadas en Brasil sobre los requerimientos nutricionales de la especie, realizadas por varios grupos de en nutrición de peces (Tabla 6). La información concerniente a los requerimientos

nutricionales para las especies nativas, como la cachama, es aun escaso, como referencia cercana a esta especie, la *International Aquaculture Feed Formulation Database* (<http://www.iaffd.com>), publicó las recomendaciones nutricionales para la especie Pacú (*Piaractus mesopotamicus*) en sus diferentes etapas de vida, con respecto a su peso vivo, esta especie está muy relacionada filogenéticamente con la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) y su morfología digestiva es muy similar (Tabla 7). De igual forma, en esta base de datos se presentan las recomendaciones para las especies tilapia y trucha arco iris (Tablas 8 y 9).

Tabla 5. Requerimientos nutricionales para las especies
Tilapia y Trucha arcoíris. (Modificado de NRC, 2011)

NUTRIENTES	TILAPIA	TRUCHA ARCOÍRIS
Energía Digestible (DE, kcal/kg)	3400	4200
Proteína Digestible (%)	29	38
Arginina (%)	1,2	1,5
Histidina (%)	1	0,8
Isoleucina (%)	1	1,1
Leucina (%)	1,9	1,5
Lisina (%)	1,6	2,4
Metionina (%)	0,7	0,7
Metionina + Cisteína (%)	1,0	1,1
Fenilalanina (%)	1,1	0,9
Fenilalanina + Tirosina (%)	1,6	1,8
Treonina (%)	1,1	1,1
Triptófano (%)	0,3	0,3
Valina (%)	1,5	1,2
Taurina (%)	NT	NR
18:2n-6 (%)	0,5-1,0	1,0
18:3n-3 (%)	NT	0,7 – 1,0
n3 LC-PUFA (%)	R	0,4 – 0,5
Fosfolípidos (%)	NT	NT (4 - 14) ^b
Calcio (%)	R/0,7	NR
Cloro (%)	0,15	NT
Magnesio (%)	0,06	0,05
Fósforo disponible (%)	0,4	0,7
Potasio (%)	0,2-0,3	NT
Sodio (%)	0,15	NR
Cobre (mg/kg)	5	3
Yodo (mg/kg)	NT	1,1
Hierro (mg/kg)	85	NT
Manganeso (mg/kg)	7	12
Selenio (mg/kg)	NT	0,15
Zinc (mg/kg)	20	15
Vitamina A (mg/kg)	1,8	0,75
Vitamina D (ug/kg)	9	40
Vitamina E (mg/kg)	60	50
Vitamina K (mg/kg)	NT	R
Tiamina (mg/kg)	NT	1
Riboflavina (mg/kg)	6	4
Vitamina B6 (mg/kg)	15	3
Ácido Pantoténico (mg/kg)	10	20

Niacina (mg/kg)	26	10
Biotina (mg/kg)	0,06	0,15
Vitamina B12 (mg/kg)	NR	R
Folacina (mg/kg)	1	1
Colina (mg/kg)	1000	800
Mioinositol (mg/kg)	NR	300
Vitamina C (mg/kg) ^c	15	20

NT: No Testeado; NR: No Requerido; R: Requerido pero No cuantificado **a.** Valores determinados con ingredientes altamente purificados altamente digestibles, así que estos valores representan el 100% de biodisponibilidad. **b.** Valores en paréntesis reportados únicamente para estadios larvarios. **c.** Como L-Ascorbil – 2 – Monofosfato, forma estable

Tabla 6. Tabla de Requerimientos Nutricionales de Tilapia
(Modificado de Furuya, 2010)

NUTRIENTE	FASE PRODUCCIÓN CICLO TILAPIA		
	REVERSIÓN	POST-REVERSIÓN HASTA 100 g	> 100 Gramos
Energía Digestible (DE, kcal/kg)	4007	3036	3075
Proteína Cruda (%)	41,3	29,7	26,8
Proteína Digestible (%)	38,6	26,8	24,3
Arginina (%)	1,81	1,26	1,14
Histidina (%)	0,75	0,52	0,47
Isoleucina (%)	1,34	0,93	0,84
Leucina (%)	1,46	1,01	0,92
Lisina (%)	2,20	1,53	1,38
Metionina (%)	0,75	0,52	0,47
Metionina + Cisteína (%)	1,32	0,92	0,83
Fenilalanina + Tirosina (%)	2,38	1,65	1,50
Treonina (%)	1,70	1,18	1,07
Triptófano (%)	0,43	0,30	0,27
Valina (%)	1,20	0,83	0,75
Fósforo disponible (%)	0,75	0,65 – 0,51	0,51 – 0,46
Cobre (mg/kg)	4		
Hierro (mg/kg)	60		
Selenio (mg/kg)	0,25		
Zinc (mg/kg)	79,51		
Vitamina A (UI/kg)	4769		
Vitamina E (mg/kg)	50		
Vitamina B6 (mg/kg)	5		
Folacina (mg/kg)	1		
Colina (mg/kg)	800		
Vitamina C (mg/kg)	600		

Tabla 7. Tabla de Requerimientos Nutricionales de Pacú (*Piaractus mesopotamicus*)
(Modificado de <http://www.iaffd.com/nutrients>, 2017)

NUTRIENTE	PACÚ < 5 g	PACÚ 5 - 50 g	PACÚ 50 - 200 g	PACÚ 200 - 500 g	PACÚ > 500
Energía Digestible (DE, kcal/kg)	2814	2773	2689	2642	2642
Proteína Cruda (%)	34,95	34,42	33,26	31,58	27,89
Proteína Digestible (%)	31,47	31,05	29,89	28,42	25,16
Extracto Etereo (%)	6,42	6,32	6,00	5,89	5,89
Almidón (%)	12,63	12,63	12,63	14,00	18,95
Arginina (%)	1,68	1,58	1,58	1,58	1,58
Histidina (%)	0,63	0,63	0,53	0,53	0,53
Isoleucina (%)	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Leucina (%)	2,21	2,11	2,00	2,00	2,00
Lisina (%)	1,89	1,79	1,79	1,79	1,79
Metionina (%)	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
Metionina + Cisteína (%)	0,95	0,84	0,84	0,84	0,84
Fenilalanina (%)	1,05	1,05	0,95	0,95	0,95
Fenilalanina + Tirosina (%)	1,89	1,89	1,79	1,79	1,79
Treonina (%)	1,16	1,16	1,05	1,05	1,05
Triptófano (%)	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Valina (%)	1,16	1,05	1,05	1,05	1,05
18:2n-6 (%)	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
18:3n-3 (%)	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
n3 LC-PUFA (%)	0,32	0,21	0,00	0,00	0,00
Fosfolípidos (%)	1,26	1,05	1,05	1,05	1,05
Cloro (%)	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Magnesio (%)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Fósforo Total (%)	0,95	0,95	0,84	0,84	0,84
Fósforo disponible (%)	0,53	0,53	0,53	0,42	0,42
Potasio (%)	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
Sodio (%)	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Cobre (mg/kg)	5,26	5,26	5,26	5,26	5,26
Yodo (mg/kg)	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Hierro (mg/kg)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Manganeso (mg/kg)	10,53	10,53	10,53	10,53	10,53
Selenio (mg/kg)	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Zinc (mg/kg)	21,05	21,05	21,05	21,05	21,05
Vitamina A (UI/kg)	6316,00	4211,00	3158,89	3158,89	3158,89
Vitamina D (UI/kg)	1684,00	1263,00	421,05	421,05	421,05
Vitamina E (mg/kg)	158,00	105,26	105,26	105,26	105,26

Vitamina K (mg/kg)	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16
Tiamina (mg/kg)	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Riboflavina (mg/kg)	6,32	6,32	6,32	6,32	6,32
Vitamina B6 (mg/kg)	10,53	10,53	10,53	10,53	10,53
Ácido Pantotenico (mg/kg)	15,79	15,79	15,79	15,79	15,79
Niacina (mg/kg)	27,37	27,37	27,37	27,37	27,37
Biotina (mg/kg)	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Folacina (mg/kg)	2,11	1,05	1,05	1,05	1,05
Colina (mg/kg)	1053,00	1053,00	1053,00	1053,00	1053,00
Mioinositol (mg/kg)	157,89	157,89	157,89	157,89	157,89
Vitamina C (mg/kg)	157,89	105,26	105,26	105,26	105,26

Tabla 8. Tabla de Requerimientos Nutricionales de Tilapia
(*Oreochromis* sp) (Modificado de <http://www.iaffd.com/nutrients>, 2017)

NUTRIENTE	TILAPIA < 5 g	TILAPIA 5 - 50 g	TILAPIA 50 - 200 g	TILAPIA 200 - 500 g	TILAPIA 500 - 1500 g	TILAPIA > 1500 g
Energía Digestible (DE, kcal/kg)	3288	3268	3070	3096	3185	3215
Proteína Cruda (%)	42,32	41,05	35,79	34,74	34,42	29,16
Proteína Digestible (%)	38,84	37,79	32,95	32	31,68	26,84
Extracto Etereo (%)	6,42	6,32	6,32	6,63	7,26	10,84
Almidón (%)	12,63	15,79	18,53	20,21	21,58	21,58
Arginina (%)	1,68	1,58	1,58	1,47	1,47	1,47
Histidina (%)	0,53	0,53	0,53	0,42	0,42	0,42
Isoleucina (%)	0,95	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Leucina (%)	1,68	1,58	1,58	1,47	1,47	1,47
Lisina (%)	1,89	1,79	1,68	1,68	1,58	1,58
Metionina (%)	0,74	0,74	0,63	0,63	0,63	0,63
Metionina + Cisteína (%)	1,16	1,1	1,05	1,05	1,05	1,05
Fenilalanina (%)	0,95	0,95	0,84	0,84	0,84	0,84
Fenilalanina + Tirosina (%)	1,58	1,58	1,47	1,37	1,37	1,37
Treonina (%)	1,16	1,16	1,05	1,05	1,05	1,05
Triptófano (%)	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Valina (%)	1,16	1,16	1,16	1,05	1,05	1,05
18:2n-6 (%)	0,95	0,95	0,84	0,74	0,63	0,84
18:3n-3 (%)	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
n3 LC-PUFA (%)	0,21	0,21	0,11	0	0	0
Fosfolípidos (%)	1,26	1,05	0,53	0,53	0,53	0,53
Cloro (%)	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Magnesio (%)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Fósforo Total (%)	1,37	1,26	1,16	1,16	1,05	1,05
Fósforo digestible (%)	0,74	0,74	0,63	0,63	0,53	0,53

Potasio (%)	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
Sodio (%)	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Cobre (mg/kg)	5,26	5,26	5,26	5,26	5,26	5,26
Yodo (mg/kg)	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Hierro (mg/kg)	100	100	100	100	100	100
Manganeso (mg/kg)	10,53	10,53	10,53	10,53	10,53	10,53
Selenio (mg/kg)	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Zinc (mg/kg)	21,05	21,05	21,05	21,05	21,05	21,05
Vitamina A (UI/kg)	6316	4211	3158	3158	3158	3158
Vitamina D (UI/kg)	1684	1263	421	421	421	421
Vitamina E (mg/kg)	126,32	126,32	63,16	63,16	63,16	63,16
Vitamina K (mg/kg)	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16
Tiamina (mg/kg)	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Riboflavina (mg/kg)	6,32	6,32	6,32	6,32	6,32	6,32
Vitamina B6 (mg/kg)	10,53	10,53	10,53	10,53	10,53	10,53
Ácido Pantoténico (mg/kg)	15,79	15,79	15,79	15,79	15,79	15,79
Niacina (mg/kg)	27,37	27,37	27,37	27,37	27,37	27,37
Biotina (mg/kg)	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Folacina (mg/kg)	2,11	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Colina (mg/kg)	1052,63	1052,63	1052,63	1052,63	1052,63	1052,63
Mioinositol (mg/kg)	157,89	157,89	157,89	157,89	157,89	157,89
Vitamina C (mg/kg)	157,89	105,26	105,26	105,26	105,26	105,26

Tabla 9. Tabla de Requerimientos Nutricionales de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) (Modificado de <http://www.iaffd.com/nutrients.html>, 2017)

NUTRIENTE	TRUCHA < 5 g	TRUCHA 5 - 50 g	TRUCHA 50 - 200 g	TRUCHA 200 – 500 g	TRUCHA 500 - 1500 g	TRUCHA > 1500 g (Reproductores)
Energía Digestible (DE, kcal/kg)	4419,15	4321,68	4404,2	4813,05	5312,62	5312,62
Proteína Cruda (%)	50,74	47,47	42,32	38,42	37,47	37,47
Proteína Digestible (%)	45,68	42,74	38,11	34,53	33,79	33,79
Extracto Etereo (%)	15,37	16,21	19,89	26,11	32,21	32,21
Almidón (%)	12,63	12,63	13,05	14,42	14,42	14,42
Arginina (%)	2,11	2,00	1,79	1,58	1,58	1,58
Histidina (%)	1,05	0,95	0,84	0,74	0,74	0,74
Isoleucina (%)	1,37	1,26	1,16	1,05	1,05	1,05
Leucina (%)	2,63	2,42	2,21	2	2	2
Lisina (%)	2,74	2,63	2,32	2,11	2,11	2,11
Metionina (%)	1,05	0,95	0,84	0,74	0,74	0,74
Metionina + Cisteína (%)	1,37	1,37	1,16	1,05	1,05	1,05
Fenilalanina (%)	1,47	1,37	1,16	1,05	1,05	1,05
Fenilalanina + Tirosina (%)	2,53	2,32	2,11	1,89	1,89	1,89

Treonina (%)	1,68	1,58	1,47	1,37	1,37	1,37
Triptófano (%)	0,42	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
Valina (%)	1,79	1,68	1,47	1,37	1,37	1,37
18:2n-6 (%)	0,53	0,53	0,42	0,32	0,32	0,32
n3 LC-PUFA (%)	0,53	0,53	0,42	0,32	0,32	0,32
Sumatoria n3	1,05	1,05	0,95	0,95	0,84	0,84
Fosfolípidos (%)	1,58	1,05	0,53	0,53	0,53	0,53
Cloro (%)	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Magnesio (%)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Fósforo Total (%)	1,68	1,58	1,58	0,95	0,84	0,84
Fósforo digestible (%)	0,95	0,84	0,84	0,53	0,42	0,42
Potasio (%)	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
Sodio (%)	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Cobre (mg/kg)	5,26	5,26	5,26	5,26	5,26	5,26
Yodo (mg/kg)	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Hierro (mg/kg)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Manganeso (mg/kg)	10,53	10,53	10,53	10,53	10,53	10,53
Selenio (mg/kg)	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Zinc (mg/kg)	21,05	21,05	21,05	21,05	2,05	21,05
Vitamina A (UI/kg)	631,00	4210,52	3157,89	3157,89	3157,89	4210,52
Vitamina D (UI/kg)	168,00	1263,00	421,05	421,05	421,05	421,05
Vitamina E (mg/kg)	210,53	157,89	105,26	105,26	105,26	105,26
Vitamina K (mg/kg)	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16
Tiamina (mg/kg)	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Riboflavina (mg/kg)	6,32	6,32	6,32	6,32	6,32	6,32
Vitamina B6 (mg/kg)	10,53	10,53	10,53	10,53	10,53	10,53
Ácido Pantoténico (mg/kg)	15,79	15,79	15,79	15,79	15,79	15,79
Niacina (mg/kg)	27,37	27,37	27,37	27,37	27,37	27,37
Biotina (mg/kg)	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Folacina (mg/kg)	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11
Colina (mg/kg)	1053,00	1053,00	1053,00	1053,00	1053,00	1053,00
Mioinositol (mg/kg)	158,00	158,00	158,00	158,00	158,00	158,00
Vitamina C (mg/kg)	210,53	157,89	105,26	105,26	105,26	210,53

Materias Primas, Formulación y Procesamiento de Dietas Comerciales

La formulación adecuada del alimento balanceado es crítica para el éxito de la empresa piscícola, maximizar las tasas de crecimiento de los peces significa minimizar el tiempo para alcanzar el peso comercializable, disminuir el tiempo de inversión y el gasto de mantener individuos de lento crecimiento. En Colombia, el rubro de alimentación constituye entre el 45-70% de los costos de producción. Por lo tanto, un alimento balanceado de la forma correcta junto con una genética mejorada de los animales sometidos a engorde, aumentan la eficiencia y el crecimiento de los peces, mejorando así de manera sólida las ganancias del productor.

Un alimento balanceado completo para peces comprende una variedad de ingredientes, materias primas de origen vegetal y animal, aditivos y suplementos, que balanceados correctamente aportan los nutrientes requeridos por el pez; se denomina “Formulación” a la composición de ingredientes de un alimento.

Tradicionalmente los alimentos para acuicultura estuvieron basados en dos materias primas básicas para la Formulación: Harina de Pescado y Aceite de Pescado, obtenidos a partir de peces capturados en los océanos. Sin embargo la presión de pesca, el crecimiento de la acuicultura y el consumo humano directo de los productos y subproductos de la pesca, han ocasionado una disminución en la oferta de estas dos materias primas extractivas y un aumento de su costo en el mercado internacional. Como fue mencionado anteriormente, la acuicultura es el sector pecuario de mayor crecimiento, para que este crecimiento sea sostenible y siga esta tendencia, es necesario el reemplazo de estas dos materias primas por otras alternativas que cubran los requerimientos nutricionales de los peces (Tacon *et al.*, 2009).

Las principales materias primas utilizadas en las formulaciones de dietas de peces se pueden agrupar de la siguiente forma: Fuentes Proteicas de Origen Animal (incluyendo harinas de pescado, harinas de subproductos de animales terrestres, harinas de insectos), Fuentes Proteicas de Origen Vegetal (Subproductos de cereales, semillas oleaginosas y sus derivados y otras), Fuentes de Proteína Celular (algas, bacterias, levaduras), Fuentes de Lípidos (Aceites de origen marino, aceites de subproductos de animales terrestres, aceites vegetales), Otras fuentes de Origen Vegetal (Harinas de plantas acuáticas), Aditivos Alimentarios (incluyendo aminoácidos sintéticos, minerales, vitaminas, preservantes, antioxidantes y

otros) (Simonson, 2016).

Cereales como granos y otras fuentes de almidón como raíces y tubérculos pueden ser una fuente de energía importante dependiendo del comportamiento alimentario de la especie. Sin embargo, para el proceso de extrusión se requiere un mínimo de estas materias primas para lograr la formación del alimento durante el procesamiento y otras características físicas del producto obtenido como hidroestabilidad, flotabilidad y finos.

Las fuentes proteicas de origen marino fueron importantes debido al desconocimiento de los requerimientos nutricionales de las especies de cultivo, estas harinas aportaban un balance ideal de aminoácidos y de ácidos grasos esenciales de alta palatabilidad para la mayoría de especies. Con los nuevos conocimientos científicos es posible disminuir estas fuentes marinas, sobretodo en dietas de levante y engorde, y proteger así poblaciones de peces en estados vulnerables sin comprometer los recursos marinos (Tacon *et al.*, 2009).

Las fuentes proteicas de origen terrestre son ingredientes derivados a partir de subproductos de animales que fueron destinados al consumo humano. Estos subproductos son procesados en equipos especiales para su deshidratación, obteniéndose harinas de alta calidad que han resultado en una excelente fuente de reemplazo de Harina de Pescado. La Harina de vísceras de pollo por ejemplo, presenta un perfil de aminoácidos similar al de la Harina de Pescado (Tacon *et al.*, 2009). Otros subproductos de aves como Hemoglobina, Harina de Plumas hidrolizadas y de otras especies como bovinos y cerdos, Harinas de carne y Harinas de Sangre son fuentes valiosas de fósforo disponible y en algunos minerales como el hierro. Estas materias primas generalmente muestran niveles inferiores en los aminoácidos Metionina, lisina, histidina y triptófano cuando se comparan con la harina de Pescado (Simonson, 2016).

Actualmente materias primas de origen vegetal como Tortas de oleaginosas, subproductos concentrados de cereales y granos de leguminosas son utilizadas ampliamente en dietas acuícolas, por su relativo alto valor de proteína y aporte de aminoácidos y presentando ventajas como su fácil consecución durante el año y precio más competitivo. Sin embargo estas fuentes de proteína presentan valores biológicos menores, desbalances de aminoácidos y presencia de factores antinutricionales (Tacon *et al.*, 2009). Son deficientes principalmente en los aminoácidos metionina y cisteína y cerca del 70% del fósforo total corresponde a fitato, forma de fósforo que no

es disponible para los peces y se considera un factor antinutricional.

La revisión más reciente de la descripción nutricional de las materias primas de uso común en acuicultura fue presentada por la AAFFD en 2015, (*The Asian Aquaculture Feed Formulation Database* (AAFFD)), cuya última versión fue presentada en agosto de 2017 con el nombre de *International Aquaculture Feed Formulation Database* (<http://www.iaffd.com>). Esta compilación fue liderada por el laboratorio de

Nutrición de peces de la Universidad de Guelph, bajo un proyecto internacional que busca ampliar los conocimientos de nutrición de las principales especies de cultivo y la descripción completa de las materias primas tanto química como biológicamente, con el fin de promover la acuicultura y el diseño de fórmulas ajustadas y eficientes. A continuación, en las tablas 10 a la 12 se presenta la descripción nutricional detallada de las principales materias primas comúnmente utilizadas en dietas para peces.

Tabla 10. Descripción Bromatológica de Materias Primas Comúnmente utilizadas en Dietas para Peces (Modificado de <http://www.iaffd.com/feed.html>, 2017)

MATERIA PRIMA	Materia Seca (%)	Humedad (%)	Proteína Cruda (%)	Extracto Etéreo (%)	Fibra Cruda (%)	Cenizas (%)	Energía Bruta (kcal/kg)
Harina de Pescado, anchoveta	91,9	8,1	67,0	8,8	0,7	15,4	4629
Harina de Pescado, sardina	93,5	6,5	66,1	7,3	0,8	16,7	4548
Harina de Pescado, atún, Subproductos	92,6	7,4	58,1	9,2	0,6	22,0	4270
Harina de Cabeza de Camarón	95,2	4,8	41,0	5,6	0,0	33,0	3468
Harina de Krill	93,0	7,0	57,7	16,0	3,0	12,8	5010
Harina de Calamar	92,9	7,1	72,1	6,0	1,2	7,4	4928
Harina de Sangre, Secado <i>spray-dried</i>	89,5	10,5	86,3	0,6	0,2	3,2	4926
Harina de Plumas, 81% PC	95,3	4,7	80,9	9,7	0,9	1,9	5581
Harina de Carne y Hueso, 50% CP	93,6	6,4	50,2	10,0	2,3	30,5	3882
Harina de Cerdo, 65% PC	97,8	2,2	65,5	13,5	2,0	13,0	4971
Harina de Visceras de Pollo, 60% PC	92,6	7,4	60,0	12,4	2,6	15,3	4739

Harina de Yuca, raíz	87,0	13,0	2,9	0,7	3,9	2,7	3510
Gluten de Maíz, 60% PC	90,9	9,1	59,9	1,6	2,0	2,4	4625
Concentrado de Proteína de Maíz, 77% PC	93,0	7,0	77,5	3,5	1,0	1,3	5134
Grano de Maíz Amarillo	87,3	12,7	8,6	3,5	1,8	1,3	3816
Destilado de Maíz, DDGS	90,3	9,7	27,3	8,5	8,0	5,6	4321
Torta de Palmiste, solvente	92,0	8,0	17,5	1,4	19,6	3,9	3929
Torta de Canola, solvente, 37% PC	90,0	10,0	37,0	2,0	12,7	7,4	4045
Harina de Arroz	89,5	10,5	12,5	11,5	12,7	13,2	3903
Grano de Arroz Quebrado	89,6	10,5	8,9	1,4	0,8	1,1	3808
Grano de Sorgo	88,1	11,9	10,1	2,9	2,1	1,8	3819
Concentrado de Proteína de Soya, 60% PC	92,0	8,0	61,9	1,6	3,9	5,1	4591
Torta de Soya, solvente, 45% PC	89,2	10,8	44,0	1,4	5,9	6,2	4140
Salvado de Trigo	87,3	12,7	17,3	3,9	10,4	5,6	3798
Harina de Trigo	87,7	12,3	12,7	1,8	1,3	1,3	3800
Grano de Trigo Duro Rojo de Invierno	88,5	11,5	13,1	2,1	3,1	2,1	3829
Harina de Espirulina, 55% PC	92,8	7,2	55,3	4,0	2,1	7,6	4546
Aceite de Pescado, anchoveta	99,0	1,0	0,0	99,0	0,0	0,0	9228

Aceite de Pollo	99,0	1,0	0,0	99,0	0,0	0,0	9228
Aceite de Canola	99,0	1,0	0,0	98,8	0,0	0,2	9211
Aceite de Palma	99,0	1,0	0,0	99,0	0,0	0,0	9228
Aceite de Soya	99,0	1,0	0,0	99,0	0,0	0,0	9228
Lecitina de Soya	99,0	1,0	0,0	91,0	0,0	3,0	8685

Tabla 11. Perfil de Aminoácidos de Materias Primas Comúnmente utilizadas en Dietas para Peces
(Modificado de <http://www.iaffd.com/feed.html>, 2017)

MATERIA PRIMA	Arg (%)	His (%)	Iso (%)	Leu (%)	Lys (%)	Met (%)	Phe (%)	Thre (%)	Tryp (%)	Val (%)	Cys (%)	Tau (%)
Harina de Pescado, anchoveta	3,89	1,60	3,08	5,00	5,06	1,94	2,75	2,81	0,76	3,48	0,61	0,21
Harina de Pescado, sardina	3,96	1,9	2,80	4,23	4,85	1,80	2,44	2,68	0,61	3,16	0,60	0,21
Harina de Pescado, atún, Subproductos	3,35	1,77	2,43	3,80	4,08	1,48	2,27	2,37	0,61	2,78	0,44	0,13
Harina de Cabeza de Camarón	2,34	2,34	5,25	3,03	1,11	0,53	1,76	1,39	0,78	1,35	0,55	0,03
Harina de Krill	4,46	1,49	3,58	5,50	5,00	2,13	3,68	3,15	0,84	3,69	1,31	0,54
Harina de Calamar	4,66	2,07	3,10	5,41	4,88	1,98	3,31	2,90	0,88	3,28	0,78	0,36
Harina de Sangre, Secado <i>spray-dried</i>	4,80	4,84	0,93	11,10	7,93	1,37	6,61	4,75	0,48	7,40	0,80	0,15
Harina de Plumas, 81% PC	5,30	0,70	3,80	6,50	1,30	0,58	4,80	3,80	0,50	5,70	2,00	0,05
Harina de Carne y Hueso, 50% CP	3,37	1,01	1,74	4,03	2,48	0,83	1,91	1,80	0,32	2,30	0,71	0,04
Harina de Cerdo, 65% PC	4,00	1,70	2,30	4,60	3,70	0,88	2,70	2,50	0,52	3,20	0,60	0,25
Harina de Visceras de Pollo, 60% PC	4,41	1,25	2,77	5,01	3,14	1,14	3,30	2,12	0,60	3,53	0,75	0,20
Harina de Yuca, raíz	0,15	0,10	0,08	0,15	0,11	0,11	0,08	0,08	0,02	0,13	0,05	0,00
Gluten de Maíz, 60% PC	2,11	1,42	3,01	12,43	1,05	1,36	5,30	1,99	0,30	3,39	1,08	0,00
Concentrado de Proteína de Maíz, 77% PC	2,53	1,59	3,20	13,64	1,76	1,86	5,18	2,73	0,32	3,76	1,15	0,00
Grano de Maíz Amarillo	0,26	0,17	0,34	1,37	0,15	0,21	0,52	0,28	0,04	0,39	0,15	0,00
Destilado de Maíz, DDGS	1,21	0,74	1,20	2,24	0,76	0,66	1,33	0,98	0,42	1,36	0,54	0,00

Torta de Palmiste, solvente	2,36	0,32	0,64	1,19	0,54	0,33	0,79	0,61	0,20	0,82	0,28	0,00
Torta de Canola, solvente, 37% PC	1,88	20,60	1,45	3,59	1,51	0,89	1,91	1,55	0,53	1,88	0,75	0,00
Harina de Arroz	1,13	0,31	0,47	0,85	0,55	0,22	0,65	0,44	0,13	0,68	0,26	0,00
Grano de Arroz Quebrado	0,69	0,19	0,39	0,68	0,32	0,21	0,44	0,31	0,17	0,50	0,14	0,00
Grano de Sorgo	0,59	0,57	0,60	1,23	0,47	0,66	1,27	0,69	0,83	1,43	0,64	0,00
Concentrado de Proteína de Soya, 60% PC	4,94	1,64	2,83	4,78	3,65	0,80	3,25	2,53	0,82	3,11	0,99	0,00
Torta de Soya, solvente, 45% PC	3,30	1,16	2,11	3,41	2,76	0,60	2,23	1,73	0,61	2,21	0,86	0,00
Salvado de Trigo	1,16	0,47	0,55	1,04	0,69	0,26	0,67	0,55	0,24	0,80	0,36	0,00
Harina de Trigo	0,60	0,21	0,33	0,60	0,27	0,13	0,54	0,27	0,13	0,40	0,25	0,00
Grano de Trigo Duro Rojo de Invierno	0,55	0,21	0,42	0,71	0,29	0,17	0,63	0,34	0,13	0,50	0,23	0,00
Harina de Espirulina, 55% PC	4,03	0,94	3,05	4,73	2,43	1,08	2,57	2,76	0,90	3,70	0,51	0,00

Tabla 12. Perfil de Ácidos Grasos de Materias Primas Comúnmente utilizadas en Dietas para Peces
(Modificado de <http://www.iaffd.com/feed.html>, 2017)

MATERIA PRIMA	Palmitico 16:0 (%)	Oleico 18:1 n-9 (%)	Linoléico 18:2 n-6 (%)	Linolénico 18:3 n-3 (%)	Araquidónico 20:4 n-6 (%)	EPA 20:5 n-3 (%)	DHA 22:6 n-3 (%)
Harina de Pescado, anchoveta	1,54	1,02	0,11	0,07	0,01	1,50	0,78
Harina de Pescado, sardina	1,19	0,83	0,10	0,12	0,12	1,24	0,94
Harina de Pescado, atún, Subproductos	1,79	1,66	0,17	0,07	0,20	0,54	2,45
Harina de Cabeza de Camarón	0,85	1,10	0,13	0,04	0,04	0,53	0,56
Harina de Krill	3,40	2,68	0,34	0,38	0,05	2,78	1,82
Harina de Calamar	0,93	0,94	0,00	0,00	0,00	0,85	1,02
Harina de Sangre, Secado spray-dried	0,15	0,24	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
Harina de Plumas, 81% PC	2,10	3,62	1,89	0,10	0,00	0,00	0,00

Harina de Carne y Hueso, 50% CP	2,38	4,12	1,02	0,10	0,00	0,00	0,00
Harina de Cerdo, 65% PC	3,21	5,56	1,38	0,14	0,00	0,00	0,00
Harina de Visceras de Pollo, 60% PC	2,68	4,63	2,42	0,12	0,00	0,00	0,00
Harina de Yuca, raíz	0,09	0,16	0,40	0,01	0,01	0,00	0,00
Gluten de Maíz, 60% PC	0,17	0,39	0,93	0,01	0,00	0,00	0,00
Concentrado de Proteína de Maíz, 77% PC	0,38	0,85	2,04	0,02	0,00	0,00	0,00
Grano de Maíz Amarillo	0,38	0,85	2,04	0,02	0,00	0,00	0,00
Destilado de Maíz, DDGS	0,93	2,07	4,96	0,06	0,00	0,00	0,00
Torta de Palmiste, solvente	0,61	0,51	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
Torta de Canola, solvente, 37% PC	0,06	1,21	0,41	0,24	0,00	0,00	0,00
Harina de Arroz	1,71	3,99	3,10	0,32	0,22	0,00	0,00
Grano de Arroz Quebrado	0,26	0,54	0,51	0,03	0,00	0,00	0,00
Grano de Sorgo	0,40	0,90	1,42	0,08	0,00	0,00	0,00
Concentrado de Proteína de Soya, 60% PC	0,16	0,36	0,80	0,11	0,00	0,00	0,00
Torta de Soya, solvente, 45% PC	0,14	0,31	0,70	0,09	0,00	0,00	0,00
Salvado de Trigo	0,74	0,55	2,42	0,20	0,00	0,00	0,00
Harina de Trigo	0,15	0,13	0,50	0,00	0,00	0,01	0,00

Grano de Trigo Duro Rojo de Invierno	0,40	0,29	1,30	0,11	0,00	0,00	0,00
Harina de Espirulina, 55% PC	1,83	0,21	0,69	0,02	0,00	0,01	0,00
Aceite de Pescado, anchoveta	17,40	11,60	1,20	0,80	0,10	17,00	8,80
Aceite de Pollo	21,60	37,30	19,50	1,00	0,00	0,00	0,00
Aceite de Canola	3,10	60,00	20,30	12,00	0,00	0,00	0,00
Aceite de Palma	43,50	36,60	9,10	0,20	0,00	0,00	0,00
Aceite de Soya	10,30	22,80	51,00	6,80	0,00	0,00	0,00
Lecitina de Soya	15,77	12,98	62,92	2,02	0,00	0,00	0,00

Formulación de Alimentos Amigables con el Medio Ambiente

Las fuentes de contaminación ambiental al agua derivadas de la acuicultura son diversas, los principales factores a tener en cuenta son las descargas de fósforo, nitrógeno, materia orgánica, metales traza, residuos de medicamentos y alimento no consumido, incluyendo finos. Los desechos producidos tienden a acumularse en el fondo de los estanques deteriorando la calidad del suelo, promoviendo la fermentación anaeróbica y el crecimiento de microorganismos y parásitos patógenos. En el caso de sistemas de producción semi-intensivos con bajo recambio de agua, un porcentaje de estos residuos permanecen disueltos en la columna de agua ocasionando un estrés continuo a los peces y estimulando un excesivo crecimiento de fitoplancton que pueden consumir en la noche la totalidad del oxígeno disuelto en el agua o modificando las poblaciones de algas al desbalancear las relaciones de fósforo con otros nutrientes favoreciendo el crecimiento de algas cianofíceas las cuales son bajas productoras de oxígeno durante el día y pueden producir sustancias tóxicas para los peces como la geosmina que ocasionan el olor y/o sabor a barro del pescado cosechado (Sugiura, 1998).

Sugiura y Hardy (2002) desarrollaron el concepto de Alimento Amigable con el Medio Ambiente, considerando que un alimento responsable con el medio ambiente es aquel que minimiza la descarga de nutrientes al medio ambiente acuático. Debe ser

formulado de forma tal que el pez digiera, absorba y retenga la mayoría posible de nutrientes contenidos en el alimento. Así, este tipo de alimentos también denominados «Eco Amigables» son de importancia crítica en la industria de la acuicultura, para el medio ambiente y para el bienestar de la humanidad. (Fig. 15).

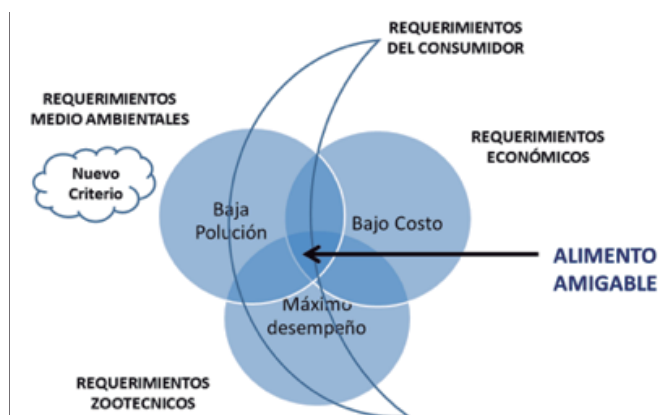


Figura 15. Concepto de Alimento Sostenible. Los alimentos Amigables con el medio deben cubrir varios estándares adicionales al concepto tradicional (Sugiura y Hardy, 2002)

Este modelo considera tres puntos críticos a tener en cuenta para la formulación de Alimentos Amigables con el medio ambiente:

1. Reducción de los nutrientes de la dieta al nivel mínimo del requerimiento de la especie
2. Seleccionar materias primas sostenibles con altos coeficientes de digestibilidad de nutrientes
3. Procesar adecuadamente el alimento para mejorar la digestibilidad de los nutrientes

Durante muchos años la formulación tradicional de dietas para peces se basó en el concepto de proteína bruta, cuyo valor se obtiene de multiplicar el nitrógeno total de la dieta por el factor 6.25 (Caputi *et al.*, 2011). Este tipo de formulación generaba un exceso de aminoácidos, aumentando así la excreción de nitrógeno vía amonio excretado en su mayoría por las branquias de los peces. Actualmente con el conocimiento de los requerimientos de aminoácidos de las principales especies de interés comercial junto con la producción sintética de los principales aminoácidos limitantes es posible balancear la dieta de acuerdo a los requerimientos de aminoácidos, haciendo posible disminuir la proteína de la dieta sin afectar el desempeño productivo de los peces, reduciendo el uso de aminoácidos como fuente de energía, promoviendo así una menor excreción de amonio al agua (NRC, 2011).

El concepto de proteína ideal se define como el balance exacto de aminoácidos que requieren los peces en su dieta para cubrir los requerimientos de mantenimiento y proporcionar el máximo de ganancia de proteína corporal con la menor conversión alimenticia (Caputi *et al.*, 2011).

En la práctica, para implementar este concepto se requiere cubrir los requerimientos de aminoácidos de la especie a formular, de acuerdo a lo presentado en las

tablas de la 1 a la 5, se toma como patrón el aminoácido lisina al cual se le atribuye un valor de 100, y el requerimiento de los otros aminoácidos son ajustados en relación a la lisina. Con el uso de un software de formulación o la función Solver de Excel, se ofertan las materias primas y aminoácidos sintéticos cuyo perfil de aminoácidos debe ser conocido (Tabla 7) y se establecen estas relaciones de aminoácidos para que se cubra su valor mínimo.

Digestibilidad de Nutrientes

El valor nutricional de los ingredientes utilizados en dietas para peces depende en gran parte de la biodisponibilidad de sus macromoléculas y componentes para la especie que está siendo alimentada (Aksnes y Opstvedt, 1998; Smith, 1971). Los Coeficientes de Digestibilidad Aparente (CDA) cuantifican la cantidad de nutrientes o energía que no son evacuados por las heces y son una herramienta indispensable para la formulación de dietas eficientes. La digestibilidad de los alimentos es el factor de mayor variabilidad en el proceso de utilización y la digestión incompleta representa la mayoría de nutrientes perdidos en las heces (Aksnes *et al.*, 1996; Smith *et al.*, 1980). Es conocido que las diferentes especies de peces aprovechan de forma diferente los alimentos, siendo esa variación cuantificada a través de la determinación de los coeficientes de digestibilidad (Pezzato *et al.*, 2004). La determinación de coeficientes de digestibilidad para dietas, nutrientes y recursos alimenticios se torna así en un punto crítico de importancia para la formulación de alimentos comerciales amigables con el medio ambiente. Durante la determinación de los coeficientes se busca asegurar el bienestar al animal, rapidez, simplicidad y sobre todo precisión para cuantificar las pérdidas fecales.

La tabla 13 presenta los coeficientes de digestibilidad de nutrientes específicos para materias primas seleccionadas, utilizadas convencionalmente en las dietas para peces en el país.

Tabla 13. Coeficientes de Digestibilidad Aparente de Principales Nutrientes en Materias Primas Comúnmente utilizadas en Dietas para Peces (Modificado de <http://www.iaffd.com/feed.html>, 2017)

MATERIA PRIMA	CDA Materia Seca (%)	CDA Energía Bruta (%)	CDA Proteína Cruda (%)	CDA Extracto Etéreo (%)	CDA Lisina (%)	CDA Metionina (%)
Harina de Pescado, anchoveta	85	57	83	78	89	89
Harina de Pescado, sardina	78	63	86	54	84	84
Harina de Pescado, atún, Subproductos	86	70	88	67	71	71
Harina de Cabeza de Camarón	61	71	79	84	79	79
Harina de Krill	78	86	84	99	84	84
Harina de Calamar	85	89	91	90	91	91
Harina de Sangre, Secado <i>spray-dried</i>	78	77	74	90	79	72
Harina de Plumas, 81% PC	73	74	74	74	74	74
Harina de Carne y Hueso, 50% CP	71	82	82	83	82	82
Harina de Cerdo, 65% PC	75	82	85	80	82	83
Harina de Visceras de Pollo, 60% PC	79	85	85	85	85	85
Harina de Yuca, raíz	79	80	80	85	80	80
Gluten de Maíz, 60% PC	82	84	90	85	90	90
Concentrado de Proteína de Maíz, 77% PC	80	81	82	84	82	82
Grano de Maíz Amarillo	78	79	79	80	79	79
Destilado de Maíz, DDGS	57	62	80	81	80	80
Torta de Palmiste, solvente	46	49	75	85	75	75
Torta de Canola, solvente, 37% PC	66	71	89	85	89	89
Harina de Arroz	66	72	71	85	71	71
Grano de Arroz Quebrado	84	84	92	85	92	92
Grano de Sorgo	77	78	79	85	79	79
Concentrado de Proteína de Soya, 60% PC	86	90	99	95	99	99
Torta de Soya, solvente, 45% PC	69	74	89	90	89	89
Salvado de Trigo	55	58	77	80	77	77

Harina de Trigo	80	81	90	85	90	90
Grano de Trigo Duro Rojo de Invierno	74	74	67	80	67	67
Harina de Espirulina, 55% PC	78	82	83	90	83	83
Aceite de Pescado, anchoveta	95	95	0	95	0	0
Aceite de Pollo	90	90	0	90	0	0
Aceite de Canola	95	95	0	95	0	0
Aceite de Palma	90	90	0	90	0	0
Aceite de Soya	95	95	0	95	0	0
Lecitina de Soya	80	83	0	85	0	0

Procesamiento del Alimento para Peces

El procesamiento de la dieta es uno de los factores que también tiene influencia en la disponibilidad de los nutrientes y en la utilización del alimento ya que interfiere en la estabilidad, dureza, plasticidad y orientación de las estructuras en función, principalmente, del calor y de la humedad.

La extrusión es la metodología de procesamiento más utilizada en la actualidad para la elaboración de dietas para peces y mascotas. Las partículas son aglomeradas, compactadas, acomodadas y orientadas, permitiendo la obtención de nuevas estructuras (Gutiérrez, 1988). La extrusión facilita el manejo del cultivo debido al mayor control de la alimentación y mayor estabilidad de los granos en el agua (Akness *et al.*, 1997).

El proceso de extrusión incluye un proceso de cocción a alta temperatura y presión, en corto tiempo (5-10 segundos) producido por la disipación de la energía mecánica la cual es transferida a la mezcla por medio de los elementos (tornillos sin fin, pared del barril o camisa) del extrusor. Durante el proceso la mezcla que se alimenta al extrusor es en forma de harina; a medida que se somete a alta presión y temperatura, y a las fuerzas de corte de los elementos actúan, esta cambia hasta formar una masa visco- elástica con características similares a un plástico derretido, también se le conoce como un proceso de cocción termoplástico.

El uso de la tecnología de extrusión en todos los tipos de alimentos acuáticos ha aumentado con rapidez en todo el mundo. La extrusión de estos se torna así muy extenso debido a la gran cantidad de especies ícticas cultivadas y de sus diferencias en requerimientos, hábitos y manejo del alimento. Su crecimiento se debe principalmente a la versatilidad del proceso que permite que se puedan producir alimentos densos (550 g/l) para camarones y otras especies que se

alimentan en el fondo, semi-densos (500- 525) g/l) que se hunden lentamente para salmones, y alimentos flotantes (<500 g/l) para especies que se alimentan en la superficie tales como Tilapia, Cachama trucha, carpa, y especies de importancia ornamental como las carpas Koi y peces de acuario.

En la tabla 14 se presentan algunas características del producto extruido comparado con otras formas de procesamiento. En el proceso de extrusión ocurren una serie de fenómenos casi todos ellos ventajosos, estos son (Riaz, 2006):

- Mejora la digestibilidad, en particular la de los cereales (dextrinización) ya que se rompe la estructura molecular de la amilosa y amilopectina liberando cadenas más cortas de glucosa que a su vez pueden ser digeridas mejor con mayor facilidad en el tracto digestivo.

- Coagulación parcial de las proteínas mejorando su digestibilidad. Estas junto con el almidón, se unen formando una mezcla homogénea y cohesionada.

Inactivación por medio de tratamiento térmico, de las enzimas deteriorantes de la fracción de grasa de las materias primas, como las lipasas y lipoxigenasas, las cuales catalizan reacciones químicas que llevan a la formación de compuestos de fácil rancidez.

- Inactivación de factores inhibidores del crecimiento. La alta temperatura necesaria para eliminar dichos factores, no atenta contra la calidad nutritiva de la mezcla, ya que se aplica por breve tiempo.

- Incrementa la resistencia de los alimentos a su degradación en el agua (hidroestabilidad).

Tabla 14. Características del alimento para peces producido mediante los procesos de manufactura más comunes de la industria (Adaptado de Hardy, 2002)

CARACTERÍSTICA	EXTRUÍDO	PELETIZADO
Temperatura Máxima del Proceso (°C)	150	95
Exposición al Vapor (minutos)	2 – 5	< 1
Digestibilidad del almidón	Alto	Bajo
Gelatinización del Almidón (%)	> 80	< 40
Flotabilidad	Flota/Hunde	Hunde
Estabilidad en el agua	Alto	Bajo
Densidad (g/L)	400 – 500	590
Durabilidad	Alto	Bajo
Destrucción de nutrientes	Medio	Bajo
Nivel Máximo de Grasa (%)	38	18
Máximo de Finos (%)	< 1	2 -3
Costo	Alto	Bajo

Se pueden utilizar un amplio rango de materias primas para producir alimentos para peces extruidos, pero estos a la vez tienen una consecuencia importante en cuanto a calidad, hidroestabilidad y expansión del producto final.

Las biomoléculas contenidas en la dieta, provenientes de cada ingrediente utilizado, presentan cambios físicos y químicos cuando son sometidos a las condiciones extremas del proceso de extrusión. Los ingredientes proteicos son el componente más importante de los alimentos para peces, debido a que estos tienen bajos requerimientos de energía. Pueden subdividirse a su vez según su origen: vegetal y animal, siendo las primeras más importantes en cuanto a características funcionales del agregado, por sus propiedades de absorción de agua, elasticidad y capacidad de cohesión. Sin embargo es importante resaltar el valor nutritivo de las proteínas de origen animal en cuanto a su perfil de aminoácidos y digestibilidad (Cheng y Hardy, 2003; Pezzato *et al.*, 2002; Abimorad y Carneiro, 2004).

Los cereales son una fuente importante de energía para la mayoría de las especies de peces. Pueden comprender hasta un 60% del total de la dieta dependiendo de la especie a la cual se realiza la formulación, su principal objetivo es la de proveer energía por su contenido de almidón que a la vez funciona como aglutinante (Krogdahl *et al.*, 2005); es importante mantener una inclusión mínima del 20% para el proceso de extrusión, esto garantiza una adecuada expansión (Rokey y Huber, 1994). El trigo y sus derivados son los principales productos utilizados para tal fin, principalmente por su costo y fácil consecución. Otras fuentes de almidón

incluyen maíz, arroz, cebada, leguminosas y tubérculos como papa y yuca (Hardy, 2002; Evers y Millar, 2002; Krogdahl *et al.*, 2005).

Debido a que el procesamiento de extrusión modifica química y físicamente las moléculas de los ingredientes utilizados, es necesario cuantificar este efecto sobre la digestibilidad de los recursos y de las dietas obtenidas. El proceso de extrusión puede hacer más disponible la energía de los ingredientes, lo que puede desequilibrar su relación con la proteína cruda. Sin embargo, Robaina (1999) afirma que debido al mejor aprovechamiento del almidón gelatinizado, ocurre un mejor aprovechamiento de la proteína, lo que da como resultado una reducción en la liberación de amonio; esta reducción genera una menor contaminación de las fuentes de agua y mejora el ambiente para el pez. Por las consideraciones anteriores es necesario considerar la cocción y las interacciones entre los ingredientes durante el proceso de extrusión, ya que en la práctica las formulaciones son realizadas con base en la composición química y la digestibilidad del ingrediente en su forma natural (Antonio, 2004).

Alimentación de Peces de Cultivo

Se debe suministrar alimento a los peces de cultivo de excelente calidad y en la correcta cantidad para que los peces expresen al máximo su potencial genético de crecimiento. En la empresa acuícola el crecimiento de los peces representa la ganancia económica y una empresa sustentable es aquella que es capaz de convertir rápidamente alimento balanceado en carne de pescado (Ewos, 2015).

Dentro del flujo de costos de la empresa, el alimento corresponde al concepto más alto, se considera que su participación esta entre el 60% y el 70% de los costos, dependiendo del grado de intensificación de la producción, por lo tanto su uso debe ser el más eficiente maximizando el crecimiento del animal y a su vez manteniendo este costo bajo control, convirtiendo así un alimento de relativamente bajo valor en carne de pescado de relativamente alto valor.

En la acuicultura la alimentación es totalmente controlada por el hombre, de esta forma el objetivo de la alimentación sustentable es conseguir un máximo crecimiento a un mínimo costo del alimento, implicando así un bienestar óptimo de los peces al tener los nutrientes necesarios y una menor descarga de nutrientes al agua.

Debido a que la cantidad de alimento que consume un pez está influenciado por muchos factores, tanto inherentes al animal como de factores externos como el sistema de cultivo, la temperatura, concentración de oxígeno disponible y otros, la mayoría de los productores ofrecen alimento a saciedad, sin embargo,

existen varias técnicas para determinar la cantidad de alimento a suministrar a los peces sin llegar a cometer excesos en el suministro que conlleven a pérdidas económicas y un exceso de entrega de nutrientes al medio, las más utilizadas a nivel comercial son el uso de tablas de alimentación fijas, elaboradas por las empresas fabricantes de alimento balanceado, tablas de alimentación propias de cada finca, generadas a partir del análisis de datos históricos recolectados y modelos matemáticos de predicción de alimentación a partir del crecimiento y la tasa de conversión alimenticia.

En las tablas 15, 16 y 17, se presentan ejemplos prácticos de tablas fijas para Tilapia, Cachama y Trucha, estas tablas expresan la cantidad de alimento a suministrar como un porcentaje del peso vivo promedio de los peces; es muy importante tener en cuenta que asumen que la concentración de oxígeno del agua es la ideal para la especie y se sitúan en el rango de temperatura ideal, por lo que fuera de estos parámetros hay que hacer ajustes a estos valores sugeridos.

Tabla 15. Tabla de alimentación sugerida para tilapia roja (*Oreochromis spp*) Calculada para 1000 Peces

FASE DE CULTIVO	DENSIDAD Máx. (g/m ²)	SEMANA	PESO		TASA ALIMENTACIÓN (%)	RACIONES POR DÍA	ALIMENTO DIARIO (Kg/día)**	ALIMENTO SEMANA (kg/semana)**
			DESDE	HASTA				
Alevinaje	250	1	1,0	2,0	9,0	10	0,14	0,945
		2	2,0	4,5	7,8	10	0,25	1,773
		3	4,5	8,0	7,5	9	0,47	3,284
		4	8,0	14	7,8	9	0,86	5,988
		5	14	20	5,6	8	0,94	6,613
		6	20	28	5,3	8	1,26	8,823
Juveniles	700	7	28	38	5,2	7	1,71	11,973
		8	38	48	4,2	7	1,80	12,597
		9	48	58	3,6	6	1,89	13,232
		10	58	68	3,3	6	2,07	14,487
		11	68	80	3,2	6	2,34	16,382
		12	80	100	3,0	6	2,70	18,898
		13	100	120	2,9	6	3,24	22,680
		14	120	140	2,9	5	3,78	26,459

Pre-Engorde	1200	15	140	160	2,6	5	3,87	27,090
		16	160	180	2,4	5	4,05	28,350
		17	180	200	2,2	5	4,23	29,610
		18	200	220	2,1	5	4,32	30,240
		19	220	245	1,9	5	4,50	31,499
		20	245	270	1,8	4	4,59	32,130
Engorde	1500	21	270	295	1,7	4	4,68	32,760
		22	295	320	1,6	4	4,77	33,390
		23	320	345	1,5	4	4,95	34,649
		24	345	370	1,5	4	5,31	37,169
		25	370	395	1,4	4	5,40	37,797
		26	395	420	1,4	4	5,67	39,690
		27	420	445	1,4	4	5,94	41,580
		28	445	470	1,4	4	6,21	43,473
		29	470	500	1,4	4	6,57	45,991
		30	500	530	1,3	4	6,84	47,879

* Esta tabla es una guía construida a partir de condiciones medioambientales ideales para la especie, con una concentración de oxígeno disuelto >3,5 mg/L en la mañana y una temperatura del agua entre 25 a 29 °C.

Tabla 16. Tabla de alimentación sugerida para cachama blanca (*Piaractus brachypomus*)
Calculada Para 1000 Peces

Sistema de Producción Semi - Intensivo Tradicional*

FASE DE CULTIVO	DENSIDAD Máx. (g/m ²)	SEMANA	PESO		TASA ALIMENTACIÓN (%)	RACIONES POR DÍA	ALIMENTO DIARIO (kg/día)	ALIMENTO SEMANA (kg/semana)**
			DESDE	HASTA				
Alevinaje	200	1	0,3	1	13,5	8	0,09	0,62
		2	1	2	11,2	8	0,17	1,17
		3	2	5	9,8	8	0,34	2,40
		4	5	10	8,8	8	0,66	4,63
		5	10	17	8,1	6	1,09	7,61
		6	17	25	7,4	6	1,56	10,93
Juveniles	500	7	25	35	6,9	6	2,07	14,52
		8	35	45	6,5	5	2,58	18,09
		9	45	60	6,1	5	3,18	22,27
		10	60	80	5,3	4	3,68	25,74
		11	80	100	4,9	4	4,41	30,87
		12	100	120	4,5	4	4,95	34,65
Pre-Engorde	800	13	120	145	4,1	4	5,43	38,03
		14	145	170	3,8	4	5,99	41,90
		15	170	205	3,5	4	6,56	45,94

Engorde	1000	16	205	230	3,3	4	7,18	50,24
		17	230	265	3,1	2	7,77	54,37
		18	265	300	3,0	2	8,42	58,96
		19	300	335	2,0	2	6,35	44,45
		20	335	370	2,0	2	7,05	49,35
		21	370	410	1,9	2	7,41	51,87
		22	410	450	1,8	2	7,74	54,18
		23	450	490	1,7	2	7,99	55,93
		24	490	535	1,6	2	8,20	57,40
		25	535	585	1,6	2	8,96	62,72
		26	585	640	1,5	2	9,19	64,31
		27	640	700	1,5	2	10,05	70,35

* Esta tabla es una guía construida a partir de condiciones medioambientales ideales para la especie, con una concentración de oxígeno disuelto >4 mg/L en la mañana y una temperatura del agua entre 26 a 29 °C.

Tabla 17. Tabla de alimentación sugerida para trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) Calculada Para 1000 Peces

Sistema de Produccion Intensivo A 15°C*

FASE DE CULTIVO	SEMANA	PESO		TASA ALIMENTACIÓN (%)	RACIONES POR DÍA	ALIMENTO DIARIO (kg/día)	ALIMENTO SEMANA (kg/semana)
		DESDE	HASTA				
Alevinaje	1	4,00	5,00	4,5	8	0,20	1,42
	2	5,00	8,03	4,3	8	0,28	1,96
	3	8,03	12,49	4,3	8	0,44	3,09
	4	12,49	17,93	4,2	8	0,64	4,47
	5	17,93	24,07	4,2	6	0,88	6,17
	6	24,07	30,78	4,1	6	1,12	7,87
	7	30,78	38,03	4,0	6	1,38	9,63
	8	38,03	45,91	3,5	6	1,47	10,28
Juveniles	9	45,91	54,58	3,5	6	1,76	12,31
	10	54,58	64,24	3,3	6	1,96	13,72
	11	64,24	75,15	3,0	6	2,09	14,64
	12	75,15	87,58	2,9	6	2,36	16,52
	13	87,58	101,80	2,7	6	2,56	17,90
	14	101,80	118,07	2,5	4	2,75	19,24
	15	118,07	136,64	2,4	4	3,06	21,40
	16	136,64	157,72	2,4	4	3,53	24,73

Engorde	17	157,72	181,47	2,3	4	3,90	27,31
	18	181,47	208,01	2,3	4	4,48	31,35
	19	208,01	237,41	2,3	4	5,12	35,86
	20	237,41	269,65	2,2	4	5,58	39,04
	21	269,65	304,68	2,1	4	6,03	42,21
	22	304,68	342,36	2,0	4	6,47	45,29
	23	342,36	382,51	2,0	4	7,25	50,74
	24	382,51	424,85	1,8	4	7,27	50,86
	25	424,85	469,06	1,8	4	8,05	56,32
	26	469,06	514,78	1,7	4	8,36	58,54
	27	514,78	561,56	1,6	4	8,61	60,27
	28	561,56	608,94	1,6	4	9,36	65,55
	29	608,94	656,40	1,5	4	9,49	66,43
	30	656,40	703,44	1,4	4	9,52	66,63

* Esta tabla es una guía construida a partir de condiciones medioambientales ideales para la especie, con una concentración de oxígeno disuelto >7 mg/L en la mañana y una temperatura del agua de 15 °C.

La información colectada en la empresa acuícola debe ser una herramienta de análisis indispensable para la toma de decisiones y para generar proyecciones a futuro, con la implementación de protocolos de toma de información básica es posible estimar el crecimiento, la alimentación, el factor de conversión alimenticia y el porcentaje de mortalidad, como parámetros zootécnicos básicos de evaluación de cultivo, pero también es posible programar otras actividades importantes como traslados, compra de alimento y otros insumos, pescas, auditorias y otros, que facilitan la planeación estratégica de la producción (Talbot, 2004).

Crecimiento

El crecimiento corporal se puede definir como el aumento gradual en el peso y longitud corporal del pez, una de las características que diferencia a los peces de los animales terrestres de cultivo es su plasticidad, así el crecimiento de los peces parece ser indeterminado lo que dificulta la definición clásica de madurez, ya que pueden seguir creciendo a lo largo de toda su vida e incluso después de la madurez sexual. El crecimiento de los peces es afectado con mayor sensibilidad a diferencias ambientales, alimento consumido, densidad de población, disponibilidad de oxígeno, temperatura y demás parámetros físico químicos del agua, además de las variables inherentes al pez, como línea genética y sexo (Aguilar, 2010).

En términos de la acuicultura comercial el crecimiento

se puede expresar como el peso ganado en un periodo de tiempo, es decir el peso en una fecha determinada menos el peso inicial registrado en una fecha anterior.

Crecimiento (Peso Ganado g) = Peso Final (g) – Peso Inicial (g)

Existen también dos índices del crecimiento que pueden ser utilizados para evaluar el crecimiento en un periodo de tiempo y también pueden ser útiles para proyectar este crecimiento a futuro, la Tasa de Crecimiento Específico y el Coeficiente Térmico de Crecimiento.

La tasa de crecimiento específico SGR (por sus siglas en inglés *Specific Growth Rate*) es una medida del aumento de peso corporal expresado como porcentaje de peso ganado por día:

$$SGR = \frac{((\ln W_f) - (\ln W_i))}{t} \times 100t$$

Dónde:

SGR = Tasa de Crecimiento Específico

Ln = Logaritmo Natural

Wf = Peso Final

Wi = Peso Inicial

t = Tiempo expresado en días

La Tasa de Crecimiento Específico disminuye a medida que el pez crece, y con el valor obtenido junto con datos históricos recolectados en cada empresa es

posible calcular el peso final o peso estimado a futuro de los animales muestreados usando la siguiente ecuación:

$$W_f = W_i * \text{Exp} (\text{SGR} * t)$$

Dónde:

Wf = Peso Final
 Wi = Peso Inicial
 Exp = Base de Logaritmo Natural
 SGR = Tasa de Crecimiento Específico %
 t = Tiempo expresado en días

Cho y Bureau (1998) desarrollaron un índice de crecimiento denominado Coeficiente Térmico de Crecimiento, este fue realizado a partir de datos recolectados en salmones y truchas de agua dulce, éste modelo considera la temperatura y peso de los peces para producir un índice de crecimiento, mientras más alto sea el número más rápido será el crecimiento. Este coeficiente presenta la desventaja que no es muy preciso fuera del rango de 5 – 14°C.

La aplicación estadística de modelos matemáticos para predecir el crecimiento de los peces son una herramienta de alta precisión que describe y

caracteriza el crecimiento de los peces y dentro de estos modelos, los de tipo no – lineal, permiten determinar coordenadas de algunos puntos de interés biológico dentro de la curva como son la fase de estructuración, tasas de ganancia de peso y el punto de inflexión, donde termina la fase de aceleración del crecimiento e inicia la fase de desaceleración (Aguilar, 2010). En la figura 6 se presenta un ejemplo de curva de crecimiento de Trucha Arco Iris, realizada con el modelo matemático de Gompertz, este modelo fue propuesto por Benjamin Gompertz en 1925 (Winsor, 1932), la ecuación es la siguiente:

$$P_t = P * (\text{Exp}^{-\exp(b-c*t)})$$

Dónde:

Pt = Peso en la edad t
 P = Peso Adulto
 Exp = Base de Logaritmo Natural
 b = Parámetro de ajuste ascendente
 c = Parámetro de ajuste descendente

Existen una multitud de modelos que pueden ser utilizados para describir el crecimiento como son: Logistic, Bertalanffy, Richards, Janoscheck, West y Michaelis- Menten (Aguilar, 2010).

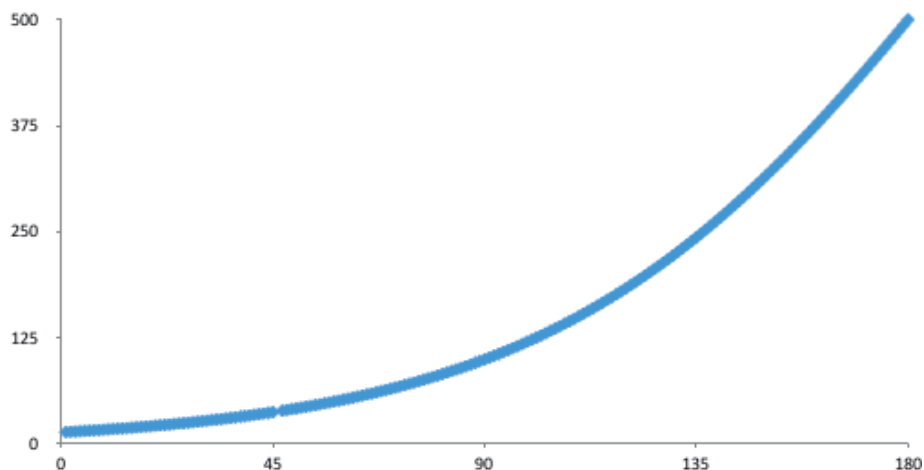


Figura 6. Curva de crecimiento de Trucha arcoíris en la laguna de Tota a 15°C, Aplicando el modelo de crecimiento de Gompertz

Medición de la Eficiencia de la Alimentación

La Tasa de Conversión Alimenticia es el parámetro que se usa principalmente como herramienta para medir la eficiencia de alimentación. Esta índice se calcula a partir del alimento suministrado a los peces, dividido en el aumento de la biomasa de los peces, relacionando así la eficiencia con la que el pez utilizó el alimento entregado para crecer. Las mismas unidades son usadas para medir el peso del alimento suministrado y el peso del aumento de la biomasa (Ewos, 2015).

Cuando se realiza el análisis del crecimiento a la par con el factor de conversión alimenticia es posible detectar los fenómenos indeseables de sub y sobrealimentación.

La subalimentación se da cuando se alimenta menos de lo que el pez está dispuesto a comer, reduciendo así el crecimiento. Es común creer que esta situación reduce el Factor de Conversión Alimenticio, pero lo que ocurre es exactamente lo contrario, ya que la mayoría de la energía del alimento es usada para cubrir el requerimiento únicamente de mantenimiento y no se destina parte de esta para la ganancia de peso. Durante el proceso de alimentación, especialmente en truchas, también se puede generar subalimentación cuando se entrega el alimento de forma muy rápida a los peces y esta velocidad de entrega supera la capacidad de captura del pez, el cual no alcanzará la saciedad. La

subalimentación puede causar una mayor incidencia de enfermedades bacterianas e infección de parásitos, mayor estrés y menor bienestar (Einen y Morkore, 1997).

La sobrealimentación ocurre cuando se entrega más alimento del que el pez está dispuesto a comer. Esto resulta en pérdida de alimento y genera un valor alto de Factor de Conversión Alimenticia. Esta situación refleja que la entrega de alimento se realizó por encima del nivel de apetito o saciedad del pez. Sin embargo, como se comentó anteriormente en la subalimentación, si la velocidad de entrega de alimento es muy rápida y supera la capacidad de captura de alimento por los peces, no se logrará la saciedad pero habrá sobre alimentación por pérdidas de alimento que generaran contaminación del agua (Einen y Morkore, 1997).

En la Tabla 18 se presenta una tabla de alimentación generada a partir de los datos básicos recolectados en granjas de truchas en la laguna de Tota, correspondientes a pesos de muestreos y datos de consumo de alimento registrados para los lotes. Con el análisis y modelación matemática de esta información básica, es posible establecer tablas de alimentación específicas para ciertos modelos de producción en condiciones medio ambientales particulares, promoviendo de esta forma por una alimentación ajustada y enfocada en el crecimiento y ganancia diaria, reduciendo así la pérdida de alimento y el impacto ambiental.

Tabla 18. Tabla de alimentación generada a partir de modelo matemático de crecimiento y datos históricos de consumo de alimento para Truchas en la Laguna de Tota (Boyacá)

EDAD (días)	PESO (gramos)	TASA DE ALIMENTACIÓN PROMEDIO (%)	CANTIDAD DE ALIMENTO (kg para 1000 truchas)	TIPO DE ALIMENTO
1 - 30	8 – 27	4,2	24	Iniciación
31 -60	27 – 52	3,3	37	Iniciación
61 - 90	52 – 100	2,7	60	Levante
91 - 120	100 – 183	2,4	100	Levante - Finalización
121 - 150	183 – 317	2,1	153	Finalización
151 - 180	317 – 500	1,8	225	Finalización
TOTAL DE ALIMENTO (kg)			599	
FACTOR DE CONVERSIÓN ALIMENTICIA			1,22	

Manejo del Alimento

Los problemas más comunes durante la manipulación y el almacenamiento de alimentos balanceados para peces son las pérdidas de nutrientes, teniendo especial atención la rancidez de las grasas, crecimiento de hongos y producción de sus toxinas e infestaciones de insectos y roedores. Las condiciones propias de los sistemas de producción acuícola favorecen el exceso de humedad y en el caso de especies de clima cálido, la permanente temperatura alta, la cual favorece el crecimiento de hongos, levaduras y otros microorganismos que deterioran la calidad del alimento. Estas mismas condiciones, producen la rancidez por oxidación de la grasa contenida en el alimento, en la industria es común el uso de compuestos adicionados a la ración para prevenir estos fenómenos, incluyendo antioxidantes como Etoxiquina, BHT, BHA y Vitamina E. Igualmente se adicionan aditivos para prevenir el crecimiento de hongos como ácido propiónico y sus sales (Italcol, 2014).

Cuidados Durante el Transporte

- Revisar el estado del vehículo o embarcación donde transportara el alimento, el piso debe estar limpio y libre de humedad. Verifique que el vehículo siempre cuente con una carpa y que esta no tenga orificios ya que en temporada de lluvias el alimento se puede humedecer. Evite la incidencia directa de los rayos solares, estos afectan la calidad de vitaminas, pigmentos y grasa del producto.
- Evitar el manejo excesivo de los bultos de alimento, durante el cargue, descargue y traslados se recomienda hacerlo con cuidado. Generalmente los encargados de este manejo tienen el concepto errado que los alimentos extruidos para acuicultura son tan resistentes como los granos, esto es un Grave Error, hay que tratarlos con mayor cuidado, pues si se maltratan se producirán finos, granos partidos, convirtiéndose en pérdidas económicas para el sistema de producción y deterioran la calidad del agua de cultivo (Italcol, 2014).

Cuidados en el Almacenamiento

- Aprovechar siempre la temporada de verano para realizar el mantenimiento preventivo sobre el techo de la bodega. Revise la presencia de goteras y el estado de las canaletas para realizar reparaciones que eviten el ingreso de agua durante el invierno.

- Mantener siempre ordenada y limpia la bodega tanto en su interior como en los pasillos exteriores, revisar siempre la limpieza de pisos, paredes y techo. Evitar la acumulación de alimento derramado, polvo y telarañas. Una bodega ordenada permitirá llevar un buen control de inventarios. Lleve siempre registros completos y detallados de todas las existencias.

- Durante el almacenamiento, aplique siempre el sistema de “Primeras Entradas Primeras Salidas”. Es decir, se ocupará primero el alimento viejo y luego el nuevo con todos los tipos de alimento debidamente separados por lotes y siempre conservando su etiqueta. No colocar los bultos recién llegados sobre los que ya estaban antes en la bodega.

- Nunca almacenar el alimento directamente sobre el suelo y siempre revise que este No esté en contacto con las paredes de la bodega. Las diferencias de temperatura entre las superficies de la bodega y el alimento producen humedad en los bultos, esta humedad favorece el crecimiento de hongos y la descomposición del alimento. Los bultos de alimento SIEMPRE deben estar sobre estibas de madera o plásticas en arrumes hasta máximo 10 filas. Como regla general, debe existir el espacio suficiente (mínimo 50 cm) entre la estiba y la pared, para que una persona transite fácilmente por todos los lados para la supervisión del producto.

- Los bultos de alimento deben almacenarse alejados de la incidencia directa de los rayos solares. Es un error muy común dejar los bultos a la orilla de los estanques y/o jaulas sin protección contra el sol y en algunas ocasiones almacenando en tanques plásticos el alimento de varios días, donde se incrementa la pérdida de nutrientes por alta temperatura en su interior.

- La bodega debe estar protegida contra roedores y aves. Es importante realizar un programa de control de plagas e instalar trampas para evitar su ingreso y la contaminación del alimento. No se debe permitir el ingreso de ningún tipo de animal a la bodega y que mascotas entren en contacto directo con el alimento ya sea consumiéndolo o con sus excreciones.

- Programar el requerimiento de alimento y almacenar únicamente lo que va a ser consumido máximo en los dos meses siguientes.

- La forma ideal de arrumar los bultos sobre la estiba debe lograr una buena ventilación entre cada una de las filas de bultos, esto se consigue colocando 8 bultos por fila, dejando siempre un canal de circulación de aire cada dos filas (Itacol, 2014).

Referencias

- Abimorad, E.G. y Carneiro, D.J. (2004). Métodos de Coleta de Fezes e Determinação dos Coeficientes de Digestibilidade da Fração Protéica e da Energia de Alimentos para o Pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). Revista Brasileira de Zootecnia. 33:1101-1109.
- Aguilar, F. (2010). Modelos matemáticos no lineales como herramienta para Evaluar el crecimiento de tilapia roja (*Oreochromis* spp.) y Tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus* var. Chitralada) alimentadas Con dietas peletizadas o extruidas. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Colombia, Bogota.
- Aksnes, A. y Opstvedt, J. (1998) Content of digestible energy in fish feed ingredients determined by the ingredient-substitution method. En: Aquaculture. 161:45– 53.
- Aksnes, A., Hjertnes, T. y Opstvedt, J. (1996). Comparison of two assay methods for determination of nutrient and energy digestibility in fish. En: Aquaculture, 140: 343-359.
- Akness, A. *et al.* (1997) (Influence of fish quality and feed pellet on growth, feed efficiency and muscle composition in gilthead seabream (*Sparus aurata*). En: Aquaculture, 153: 251-261.
- Antonio, C. (2004). Efeito da extrusão e da peletização sobre a digestibilidade da fração protéica e da energia de alimentos para juvenis de tilápia do Nilo. Trabalho final (Graduação em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista - Jaboticabal, 59 p.
- Caputi, B., Costa, A. y Nogueira, E. (2011). Nutrição Responsável: Contribuindo com o meio ambiente- Estratégias para reduzir a excreção e perda de nutrientes em aves e suínos. Sao Paulo, Brasil.
- Cheng, Z. y Hardy, R.W. (2003). Effects of extrusion processing of feed ingredients on apparent digestibility coefficients of nutrients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture Nutrition, 9: 77–83.
- Cho, C.Y. y Bureau, D.P. (1998). Development of bionergetic models and the Fish-PrFEQsoftware to estimate production, feeding ration and waste output in aquaculture. AquaticLiving Resources. 11:199-210
- Einen, O. y Morkore, T. (1997). Dietary Protein/energy ratios for Atlantic salmon in relation to fish size, growth, feed utilization and slaughter quality. Aquaculture Nutrition 3, 115-126.
- Evers, T. y Millar, S. (2002). Cereal Grain Structure and Development: Some Implications for Quality. Journal of Cereal Science, 36: 261-284.
- Ewos. (2015). Manejo Práctico del alimento, Agua dulce, Para el cultivo de salmón y Trucha. Chile. 61 p.
- Furuya, W.M. (2010). Tabelas brasileiras para nutrição de Tilápias. 21 ed. Toledo: GFM. 100 p.
- Gutierrez, R. (1988). Tecnologia de extrusão: produtos texturizados e expandidos. Campinas: Unicamp, FEA, 1988. Apostila.
- Italcol. (2014). Guía De Truchicultura, Trucha Arco Iris. Bogotá. 56 p.

Hardy, R. W. (2002). Diet Formulation and Manufacture. En Fish Nutrition, Tercera edición. Elsevier Science (USA). Capítulo 9: 505 – 600.

<http://www.iaffd.com/home/nutrients.html>

<http://www.iaffd.com/home/feed.html>

Krogdahl, A., Hemre G.I. y Mommsen, T.P. 2005. Carbohydrates in fish nutrition: digestion and absorption in postlarval stages. Aquaculture Nutrition. 11: 103–122.

Lovell, T. (1998). Nutrition and Feeding of Fish. Second Edition. Auburn University, Alabama.

NRC. (1993). Nutrient Requirements of fish. National Academy Press, National Research Council, National Academy Press. Washington, D.C.

NRC.(2011). Nutrient Requirements of fish and Shrimp. National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C.

Pezzato, L., Carvalho, E., Barros, M., Quintero, L., Massumitu, W. y Pezzato, A. (2002). Digestibilidade Apparente de ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Revista Brasileira de Zootecnia. 31: 1595-1604.

Pezzato, L. et al. (2004). Digestibilidade da matéria seca e da proteína bruta e a energia digestível de alguns alimentos alternativos para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). En: Acta Scientiarum. Animal Sciences., 26 (3): 329-337.

Riaz, M.N. (2006). Introduction to extrusion. En: Feeds and pet food extrusion manual. Texas A&M University.

Robaina, L. (1999). Digestibility, postprandial ammonia excretion and selected plasma metabolites in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed pelleted or extruded diets with or without wheat gluten. Aquaculture. 179: 45 - 56.

Rodríguez, D. 2011. Nutrición de la Cachama y el Yamú. En: Estrategias De Alimentación Para Cachama Y Yamú A Partir De Prácticas De Restricción Alimenticia. Universidad Nacional de Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, AcuiOriente. Bogotá.

Rokey, G. y Huber, G. (1994). Procesamiento de extrusión en los alimentos para la acuicultura. En: Tecnología para la fabricación de alimentos balanceados. American Feed Industry Association Inc. Capítulo 57: 484 – 491.

Simonson, H. (2016). Feed Ingredients in Aquaculture. Arraina Project Technical Booklet A database of Aquaculture feed ingredients. INRA, EU.

Smith, R. A (1971). Method for measuring digestibility and metabolizable energy of fish feeds. En: Prog.Fish-Cult. 33: 132–134.

Smith, R., Peterson, M. y Allred, A. (1980). Effect of leaching on apparent digestion coefficients of feedstuffs for salmonids. En: Prog. Fish-Cult. 42:195–199.

Sugiura, S. y Hardy, R. (2002). Environmentally friendly feeds. Encyclopedia of Aquaculture. Editado por Robert Stickney, Bryan, Texas.

Sugiura, S. (1998). Development of Low-Pollution Feeds for Sustainable Aquaculture, Ph.D. dissertation, University of Washington, Seattle.

Tacon, A., Metian, M. y Hasa, M. (2009). Feed ingredients and fertilizers for farmed aquatic animals: sources and composition. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 540. Rome, FAO. 209p.

Talbot, C. (2004). Aplicación de modelos de crecimiento y alimentación en la gestión del cultivo de peces. Skretting Informa No 8. Invierno 2003/2004 P6.

Winsor, C.P. (1932). The Gompertz curve as a growth curve. Proceedings of the National Academy of Sciences.18:1-7.

CAPÍTULO 4

BIOSEGURIDAD EN ACUICULTURA

MARGY ALIETH VILLANUEVA SOTO¹



Introducción

La acuicultura se define como la cría de animales acuáticos (peces, crustáceos, moluscos y anfibios) que supone la intervención del hombre para mejorar la producción, por ejemplo, mediante la repoblación, alimentación y la protección contra los depredadores, que puede desarrollarse en instalaciones tanto en zonas costeras como en el interior del territorio de un país. De acuerdo con lo referenciado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO, éste es probablemente el sector de producción de alimentos de más rápido crecimiento al nivel mundial y representa ahora el 50 por ciento de proteína animal destinada a la alimentación mundial, contribuyendo de esta manera a la seguridad alimentaria de muchas comunidades. De igual manera esta actividad contribuye a la seguridad social generando empleo, ingresos y brindando oportunidades para el desarrollo humano (Subasinghe, 2009).

Como es un sistema de producción desarrollado en un medio acuático, en el cual se mantienen en confinamiento las especies cultivadas, la probabilidad de aparición de enfermedades es alta e inevitable. Algunas de estas enfermedades pueden ser ocasionadas por patógenos que pueden estar presentes en el cultivo y actúan de manera oportunista, causando enfermedad ante condiciones adecuadas para éstos y desfavorables para los animales en el cultivo, como por ejemplo la presión del medio que les genera estrés y condiciones de manejo o ambientales desfavorables para la especie. Otras enfermedades pueden ser ocasionadas por bioagresores que requieren de un hospedador para sobrevivir. Estos agentes patógenos pueden ser

muy agresivos incluso en condiciones ideales de manejo y deben ser excluidos del establecimiento de acuicultura, siempre que sea posible. En otros casos, la presentación de enfermedad puede originarse por deficiencias alimentarias, alteraciones genéticas o por contaminación química.

De esta forma, la presentación de enfermedades en un cultivo de animales acuáticos se constituye en una gran limitación para el productor, ocasionándole grandes pérdidas económicas, restricción al comercio y pueden repercutir en el desarrollo económico y socioeconómico de muchos países en el mundo. Igualmente, la presentación de enfermedades en cultivos de animales acuáticos, pueden tener graves impactos en la pesca, afectar la salud de los animales acuáticos silvestres y al medio ambiente (Subasinghe, 2009).

Asimismo, se ha demostrado que muchas enfermedades presentes en el proceso de acuicultura han surgido por el aumento en la producción, el establecimiento sin control de nuevas empresas carentes del cumplimiento de requisitos y condiciones requeridas, presión sobre el medio ambiente debido a la generación de nuevas tecnologías de cultivo, aumento en el volumen de animales y por el movimiento desordenado y sin control de animales acuáticos vivos, equipos y transporte, al nivel nacional e internacional. Esto ha generado el desarrollo de enfermedades en lugares en los cuales no se habían reportado anteriormente, surgiendo graves consecuencias socioeconómicas, ambientales e internacionales en el comercio.

¹Lic. en Biología, M.Sc. en Microbiología Médica. Responsable Nacional Programa Sanitario de especies acuícolas Instituto Colombiano Agropecuario-ICA
margy.villanueva@ica.gov.co

Por lo anteriormente expuesto se requiere implementar medidas que permitan reducir el impacto de la presentación de enfermedades y que mantengan la producción y el comercio de productos de la acuicultura bajo estándares de calidad e inocuidad. Para lograr el objetivo propuesto, tanto el gobierno como la industria tienen una gran responsabilidad en adelantar la gestión adecuada para evitar los riesgos asociados a la propagación de enfermedades en la producción de los animales acuáticos.

A estas medidas propuestas se les conoce como principios de Bioseguridad, que describen el conjunto de medidas físicas y de gestión, diseñadas para reducir el riesgo de introducción, radicación y propagación de agentes patógenos hacia, desde y dentro de una población de animales acuáticos.

Este documento presenta la introducción al tema de Bioseguridad aplicada a la acuicultura. Se expone el procedimiento por seguir para desarrollar un Plan de Bioseguridad basado en el proceso de Evaluación de Riesgos aplicado a cada sistema productivo, examinando cada una de las posibles falencias que pueden ocasionar la introducción de agentes patógenos al cultivo.

El análisis de riesgos para bioseguridad de animales acuáticos vivos es el proceso de reconocer y estimar el nivel de riesgo planteado para cada uno de los riesgos identificados y determinar las medidas de gestión para reducir el mismo a un nivel aceptable para los animales acuáticos en cultivo (OIE, 2018).

Estas estrategias pueden ser aplicadas en cualquier sistema productivo, pequeño, mediano o grande, extensivo, intensivo o súper intensivo, así cada productor debe determinar el método a utilizar que sea más efectivo y eficiente en función de sus costos particulares. Lo importante para tener en cuenta es que debe ser coherente, oportuno y transparente.

Para lograr una adecuada identificación de los riesgos, es necesario conocer el comportamiento normal de las especies cultivadas y su estado óptimo de salud, así como los principales patógenos y enfermedades que pueden afectar a la especie cultivada, su ciclo de vida, distribución geográfica, hospederos y su transmisión, con el fin de proponer las medidas de control.

Así, el presente documento presenta de manera sencilla a los acuicultores interesados en mejorar la producción y sanidad de sus cultivos y a los lectores en general, la importancia de implementar un plan de bioseguridad en los cultivos de animales acuáticos, con el fin de evitar de manera consciente la aparición

de enfermedades. En primer lugar, se describen los conceptos sobre Bioseguridad y a continuación cada uno de sus componentes con las respectivas recomendaciones.

Bioseguridad

En los establecimientos de acuicultura la presentación de enfermedades se constituye en una de las principales amenazas que ocasionan grandes pérdidas. Estas enfermedades generan impacto negativo en la sanidad, bienestar de los animales en cultivo, en la salud pública y el crecimiento económico de las empresas del sector. Para ello se hace imprescindible generar la cultura de la Bioseguridad en todos los productores de animales acuáticos y así evitar las pérdidas mencionadas.

En consecuencia es necesario que cada establecimiento de acuicultura, de acuerdo con sus particularidades, establezca un programa sanitario orientado a preservar la salud de los animales en cultivo, que incluya estrategias de bioseguridad cuyo objetivo es prevenir la introducción de patógenos que causan enfermedades e incluir medidas que permitan responder de manera inmediata ante la irrupción de un brote de enfermedad, incluyendo el manejo, control y posible erradicación, para garantizar que cualquier respuesta a la enfermedad esté previamente instituida y de solución de manera eficiente y eficaz a la situación presentada.

Por lo tanto, es responsabilidad del productor asegurar un adecuado sistema de cultivo, contar con asistencia técnica idónea, que le permita conocer su sistema productivo y a la vez conocer las enfermedades propias de su especie, para evitar la presentación de éstas, mediante la elaboración y ejecución de un Plan de bioseguridad para su establecimiento.

La Bioseguridad en términos generales es un conjunto de medidas prácticas diseñadas para evitar la entrada y diseminación de enfermedades a los cultivos. En otras palabras, es establecer barreras a los patógenos que pueden afectar a las especies en cautiverio.

Las actividades para evitar el ingreso o difusión de enfermedades se deben realizar por y con el productor, por lo cual requiere de un trabajo en equipo entre productor- asistente técnico-gobierno.

¿Por qué se debe implementar la Bioseguridad?

Es importante implementar la bioseguridad en cada cultivo para controlar una problemática sanitaria creciente, derivada de la expansión, diversificación

e intensificación de los cultivos y el aumento en los movimientos de animales acuáticos y sus productos dentro del país y a nivel internacional sin control, lo cual favorece la distribución y presentación de enfermedades en otras zonas no reportadas.

El comercio internacional influye, en muchas ocasiones, de manera negativa acelerando la introducción accidental de enfermedades en nuevas poblaciones y regiones geográficas, a través de los movimientos transfronterizos de las poblaciones producidas en criaderos, nuevas especies para el cultivo y el comercio de peces ornamentales.

Así, los objetivos para la implementación de bioseguridad en un establecimiento de acuicultura buscan obtener mayor productividad, rentabilidad del cultivo y calidad del producto alcanzado. Como resultado de la implementación de la bioseguridad se encuentra que la salud de los animales es óptima y se evidencia un mejor rendimiento, dado que los animales en cultivo pueden manifestar todo su potencial genético; reduce la transmisión y amplificación de enfermedades dentro y entre cultivos u otras áreas del país; se reduce la aplicación de medicamentos; disminuye la mortalidad; facilita el movimiento entre establecimientos de acuicultura; permite la detección temprana de enfermedades; da garantía sanitaria sobre los animales y productos comercializados; permite determinar el estatus sanitario en todos los niveles: establecimiento de acuicultura, zona y país; cumple con los requisitos para el comercio internacional, lo que permite el acceso a mercados; está integrado con otros sistemas de control de calidad del establecimiento y en planta de proceso; contribuye a la seguridad alimentaria y social de las comunidades locales y ofrece proteína de alta calidad a poblaciones vulnerables (SCAAH, 2016).

Al analizar las múltiples ventajas que representa para un cultivo la implementación de la Bioseguridad es igualmente necesario evaluar el costo de la implementación de las medidas de bioseguridad versus el costo de atender una emergencia sanitaria o la pérdida de todo el cultivo.

Finalmente es importante revisar los requisitos para el desarrollo e implementación de planes de bioseguridad pertinentes a las características de cada establecimiento, que se construirán en cumplimiento de la base normativa establecida por el Gobierno nacional, orientadas a mejorar la producción de animales acuáticos en el país y el mantenimiento del estatus sanitario nacional de especies productivas acuícolas.

Correspondientemente, las consecuencias derivadas de una deficiente bioseguridad se manifiestan en pérdidas económicas, reducción de la disponibilidad de alimentos en las comunidades locales, reducción de empleos e ingreso económico, cierre de mercados establecidos al nivel internacional y pérdida de la condición sanitaria del país.

Para elaborar un Plan de Bioseguridad se debe apoyar en el proceso de Evaluación de riesgos que incluye una serie de pasos importantes, desde identificar los peligros, analizar y evaluar las vías potenciales de ingreso del peligro, para luego establecer las medidas que permitan eliminar o controlar el peligro detectado. El último paso de la evaluación consiste en la comunicación del riesgo, en donde se informa a todo el personal del establecimiento el resultado de la evaluación realizada y las medidas de control a implementar (OIE, 2000, 2018; SCAAH, 2016 y NAAHP, 2008). (Fig. 1).

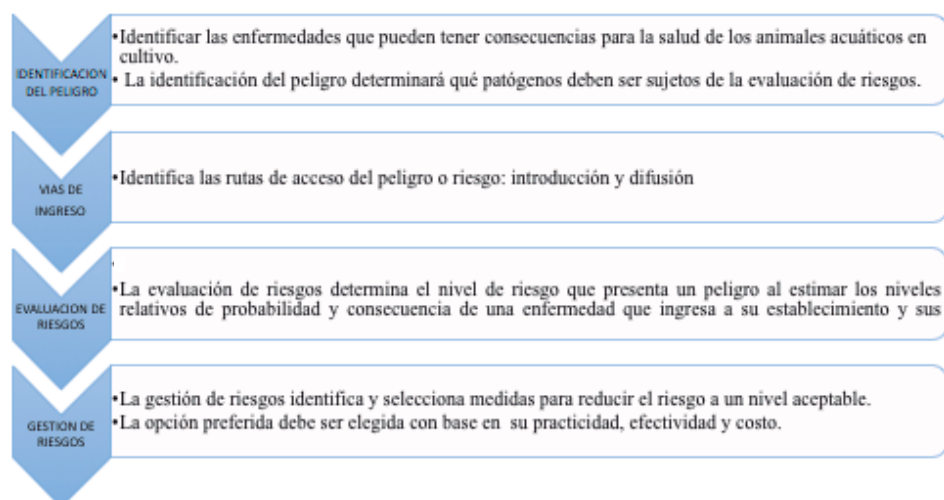


Figura 1. Componentes del proceso de evaluación de riesgos
(adaptado de OIE, 2000)

Es importante tener en cuenta que el “riesgo” se determina como el producto de probabilidad y consecuencia. Así, un peligro cuya consecuencia es de riesgo alto, puede arrojar como medida de mitigación (resultado) que se deba eliminar toda la población existente en un cultivo, por ejemplo, la introducción de una enfermedad exótica a través de material genético de origen desconocido. Si la consecuencia de que ocurra el peligro es de riesgo bajo, cuando la probabilidad que ocurra este peligro es remota, se establecerán medidas de protección, por ejemplo, porque no existe la ruta para ingresar al establecimiento.

De esta forma, el Plan de Bioseguridad se puede iniciar planteando una serie de cuestionamientos, ¿Por qué se consideran los riesgos de bioseguridad y cuál es el resultado deseado de la gestión de estos riesgos?, así seleccionamos los riesgos que se consideren los más altos y la bioseguridad que se propone. Para identificar y valorar los riesgos se utilizan las matrices de riesgo, que permiten a través de un enfoque simple y estándar, determinar el riesgo a partir de estimaciones de probabilidad y consecuencia.

Niveles de Bioseguridad

Se cuenta con tres niveles de bioseguridad, el primero inicia con la bioseguridad implementada en cada establecimiento de acuicultura. El segundo corresponde a la bioseguridad local, sea en el municipio, zona, departamento y el tercero, un poco más complejo, corresponde al cumplimiento de las medidas de bioseguridad al nivel nacional (Scarfe, 2015 y Huang, 2017).

Cada nivel cuenta con unas condiciones que se deben establecer y cumplir, las cuales se van incrementando en complejidad hasta llegar al nivel país, que permite establecer la condición sanitaria del mismo. De esta forma la bioseguridad a nivel de establecimiento es de responsabilidad del productor; a nivel regional, es de responsabilidad compartida entre los productores, la industria y el gobierno local y a nivel nacional e internacional es de responsabilidad gubernamental.

Los componentes a tener en cuenta en el nivel nacional e internacional incluyen, entre otras, las normas internacionales como son las normas de la Organización Mundial de Sanidad Animal-OIE; Organización Mundial del Comercio-OMC y Codex Alimentarius; el marco legal nacional, la política de gestión, la Autoridad para implementar medidas de control a nivel nacional, regional y de sitio, Infraestructura, Líneas de mando, Laboratorios, Sistema de notificación, Sistema de información y desarrollo de competencias.

Al nivel local se incluyen la determinación de la Unidad epidemiológica, flujo y movimiento entre establecimientos, agrupación de establecimientos en grupos o zonas, colaboración regional, interacción entre grandes empresas intensivas y pequeñas (semi) empresas privadas extensas y mecanismos para la implementación de medidas coordinadas.

A nivel de establecimiento las condiciones y requisitos deben estar descritos en un plan de bioseguridad, elaborado a partir de una evaluación de riesgos, como se describió previamente, soportados en planes operativos estandarizados - POES para las diferentes actividades que se realizan en el establecimiento y el monitoreo de enfermedades que define la condición sanitaria de los animales en cultivo y la elaboración de planes de contingencia para dar respuesta de emergencia ante brotes de enfermedades graves .

Este plan de Bioseguridad debe ser elaborado por cada productor dependiendo de las condiciones y características propias de cada cultivo y debe ser comprendido y respetado por todos los empleados (conciencia de bioseguridad), así como revisado y actualizado periódicamente (Huang, 2017).

Plan de Bioseguridad

El Plan de Bioseguridad se constituye en un documento escrito guía, que debe ser elaborado por el productor, en conjunto con el asistente técnico del cultivo, en el cual se establece la dinámica de este, los procedimientos adelantados y las normas de operación. Se elabora con base en la identificación obtenida mediante la evaluación de riesgos, los peligros potenciales, sus vías de ingreso y las medidas preventivas de bioseguridad que se deben implementar en las instalaciones de acuicultura para reducir el riesgo de introducción o propagación de los patógenos de los animales acuáticos. Este documento debe ser de fácil acceso y comprensión de todo el personal que labora en el establecimiento.

Este plan debe ser evaluado periódicamente con el objetivo de actualizar la información y realizar las mejoras que se requieran. Las medidas preventivas y los planes de bioseguridad específicos pueden variar según el método de producción, especies y el grupo etario criado, y los factores de riesgo involucrados. Por lo tanto, no existe un plan de bioseguridad acorde para todos los establecimientos, por lo cual cada establecimiento debe elaborar su propio plan de bioseguridad (USDA- APHIS, 2011).

A continuación, se relacionan aquellas condiciones que deben ser tenidas en cuenta para la elaboración

del Plan de bioseguridad del primer nivel, al nivel de establecimiento. Algunas condiciones son externas que influyen en la Bioseguridad y otras son condiciones internas, que son inherentes al sistema productivo.

Los temas que deben ser desarrollados dentro del Plan de Bioseguridad inician estableciendo las rutas por las cuales pueden ingresar los patógenos al cultivo y deben contener:

Información geográfica.

Se debe realizar la descripción geográfica e información adicional relevante del lugar en el que se encuentra el cultivo: geoposicionamiento, fuentes de agua, identificar los vecinos, ¿si cultivan peces o qué especies o productos cultivan?, ¿cuál es el manejo dado?, ¿distancias? ¿Vías de ingreso, cómo es el ingreso de las personas?, ¿cuál es la relación con los cuerpos de agua?, movimientos de personas entre los establecimientos.

Esta caracterización de lugar en el cual se instalará el cultivo, permite determinar los parámetros y variables físicas, biológicas y químicas del área en que se pretende desarrollar la acuicultura, así como las medidas de bioseguridad que se pueden aplicar de manera adecuada.

Así es necesario:

- Analizar el suelo para los establecimientos en tierra, con el fin de verificar las condiciones del terreno y evitar contaminación del producto por agentes químicos.

- Evaluar la topografía y características del terreno, con el fin de realizar el diseño del establecimiento y la disponibilidad de infraestructura.

Cuando se haya escogido el lugar adecuado es importante construir un mapa del establecimiento, en donde se identifique claramente la infraestructura del mismo, por ejemplo, puerta de ingreso, zona de parqueo, bodegas de almacenamiento, rutas de ingreso, puntos de desinfección, caminos, estanques, bocatomas e ingreso y puntos de descarga del agua del cultivo, suministro de agua, tratamiento y vías de descarga, bombas y válvulas de agua, puntos de entrada y descarga de agua, equipo de lavado y lavado de vehículos.

En el caso que los establecimientos estén ubicados en cuerpos de agua de uso compartido, igualmente es deseable que se describa en el mapa, además de la infraestructura, la zona concesionada, los sitios de producción, las rutas de movilización de los botes y naves acuáticas, así como describir el flujo de productos con sus vecinos y las rutas de ingreso y egreso de los materiales y productos al cuerpo de agua, embarcaderos y puertos, número de botes (Fig. 2).

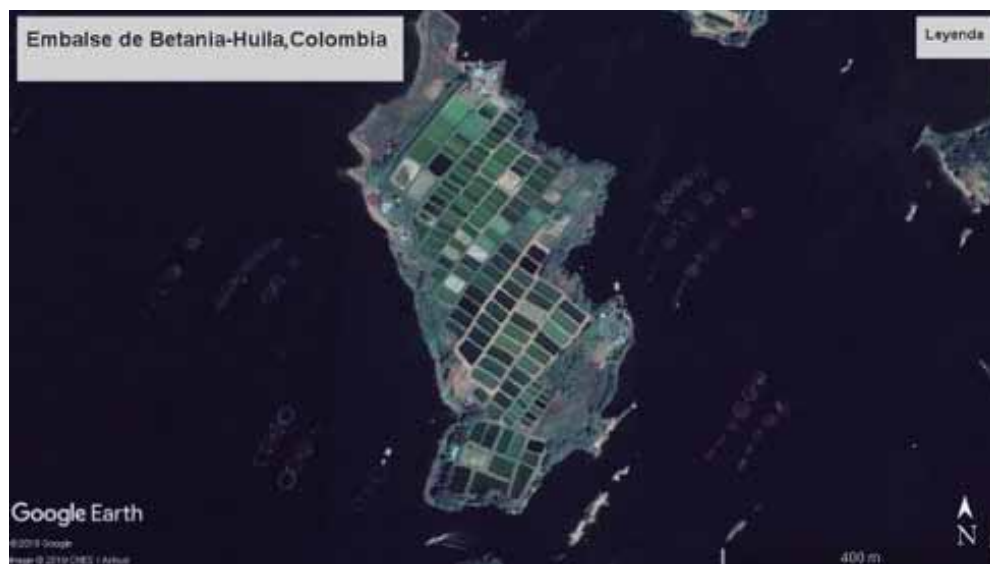


Figura 2. Vista aérea del embalse de Betania. Huila, Colombia.
Establecimientos de acuicultura ubicados en cuerpos de agua compartida. (Tomado de Google Earth)

Cada infraestructura, deberá contar con un plano particular de ingreso y salidas, identificación de la infraestructura, zona de reproducción, alevinaje, laboratorios, zona de cuarentena entre otros y rutas y flujos de materiales y productos, puntos de desinfección para manos y calzado y zona de eliminación de residuos sólidos. (Sub-Committee on Aquatic Animal Health - SCAAH, 2016).

Información de las fuentes de Agua.

El agua es primordial para un establecimiento de acuicultura (Fig. 3) e influye directamente sobre la salud de los animales acuáticos. Los patógenos pueden ingresar a un establecimiento a través del agua de transporte de los peces que esté contaminada o por la fuente de agua de donde se surte el establecimiento,

por lo cual se deben establecer medidas para su control:

- Revisar las condiciones químicas, físicas y microbiológicas de la fuente de agua para evitar contaminación de los productos obtenidos y garantizar la inocuidad de los estos.
- Realizar un monitoreo de la fuente de agua de donde se surtirá el cultivo para determinar si cumple las condiciones para la especie que se desea cultivar.
- La bocatoma del agua no se debe ubicar en lugares donde exista riesgo de contaminación.
- Colocar filtros en la entrada del agua al establecimiento.



Figura 3. Agua como recurso básico en Acuicultura.

Fuente: Autora

- Toda el agua utilizada en las unidades de producción debe ser tratada, por ejemplo, cloro, ozono, UV, ultrafiltración, para eliminar los patógenos.

- Se debe realizar análisis microbiológico al agua de manera periódica para comprobar la calidad de ésta.

- Establecer medidas para el control de ingreso de fauna nativa al establecimiento por medio de filtros o trampas y evitar instalar un establecimiento de acuicultura en cercanía a otro establecimiento que pueda contaminar la fuente de agua.

- Se debe asegurar que el agua que sale del establecimiento no esté contaminada y así no

contaminar las fuentes de aguas naturales u otros cultivos que se surtan de la misma fuente.

Para los establecimientos que se encuentran en cuerpos de agua compartidos, como por ejemplo en jaulas, es difícil establecer medidas de control y manejo del agua, por lo cual se deben instaurar como medidas de control, realizar monitoreos de la calidad del agua para establecer pautas de manejo y ubicar la infraestructura de acuerdo con las corrientes de agua, basado en criterios técnicos, para asegurar el intercambio adecuado de la misma.

Información de la población.

Dentro del plan de Bioseguridad es importante indicar las especies cultivadas, el origen de estas, censo

poblacional, infraestructura del cultivo, etapas etarias cultivadas y toda la información relevante del mismo.

De igual forma se debe describir el origen del material genético utilizado, que provenga de establecimientos que se encuentren bajo control oficial y demuestren los controles realizados al mismo (Fig. 4). Antes de introducir material genético nuevo al cultivo, es importante conocer el origen de los reproductores que dieron origen al material adquirido, historial de ausencia de enfermedades, de ser posible de reproductores libres de patógenos, diagnósticos realizados que demuestren que se encuentran libres de patógenos de interés para la especie cultivada, certificación sanitaria, cuando corresponda y posibles tratamientos realizados.



Figura 4. Embalaje de material genético de tilapia.

Estación Piscícola del Alto Magdalena

Fuente: Autora

En el momento de la introducción del material adquirido, este deberá ingresar a la unidad de cuarentena por un período de tiempo durante el cual estará en observación y si es requerido se someterán a pruebas de diagnóstico para confirmar su estado sanitario antes de ingresar a hacer parte de la población de cultivo.

Sistema de producción.

Para identificar este aspecto se debe considerar lo siguiente: ¿A qué sistema de producción pertenece?, ¿Cómo es el manejo de los animales?, ¿Cuáles son los requisitos de la especie?

- Establecer el procedimiento de monitoreo y control de las aguas del establecimiento, tanto al ingreso como al egreso, determinando que su calidad sea la óptima para las especies cultivadas, incluyendo análisis fisicoquímico, microbiológico y metales pesados, que aseguren la inocuidad de los productos obtenidos.

- Realizar el monitoreo de la calidad del alimento utilizado, que sea acorde con las necesidades nutricionales de los peces en cultivo. Algunos patógenos pueden ser transmitidos por el alimento contaminado.

- Evitar alimentar los animales con despojos de otros animales, con la mortalidad presentada en cultivos de otras especies animales o utilizar harinas de la misma especie para la elaboración del alimento.

- En el paso inicial de construcción de la infraestructura del cultivo es importante considerar que la entrada de agua a la misma no se mezcle con la de salida. Así mismo cada estanque debe poseer entrada y salida de agua independiente y a la entrada y salida de cada estanque debe colocarse una malla para evitar la entrada de especies no deseadas y la salida al medio de especies cultivadas.

- En cuanto al desarrollo del cultivo se deben tener en cuenta las densidades de siembra, que se deberán respetar con base en los parámetros zootécnicos para las especies cultivadas, teniendo en cuenta la talla, edad, capacidad de crecimiento, supervivencia y producciones esperadas.

En este mismo capítulo relacionado con los sistemas de producción se deberán incluir las condiciones y procedimientos por seguir para realizar la cosecha en condiciones adecuadas para la especie, respetando el bienestar animal.

- En las condiciones para tener en cuenta se incluye que las prácticas utilizadas deben minimizar el estrés de los animales y así evitar que se afecte la calidad del producto por obtener. Se debe programar la cosecha de los animales en la hora adecuada tanto para el operador como para los animales (Fig. 5); así mismo, deben estar libres de fango e impurezas que afecten la sanidad e inocuidad del producto y si se requiere transportar los animales acuáticos vivos hasta la planta de proceso, éstos se deben transportar en agua de calidad potable.



Figura 5. Procedimiento de cosecha de tilapia

Fuente: Autora

Movimiento de animales.

Es considerado como la mayor causa de transmisión de enfermedades al nivel mundial. Se debe realizar el control para el movimiento interno dentro del establecimiento, el control del movimiento hacia afuera del establecimiento y el control del movimiento en las importaciones y exportaciones. Adicionalmente es necesario controlar el ingreso de animales acuáticos silvestres a través del suministro de agua y los animales silvestres como aves, animales clasificados plagas como roedores y otros vectores que pueden representar un riesgo de transmisión de enfermedades en el establecimiento.

Por lo anterior, teniendo en cuenta que las empresas de acuicultura están vinculadas a través del movimiento de personas, animales, equipos, residuos y agua y que, a través de estos movimientos, los riesgos se comparten, tanto como las enfermedades en cualquier región, establecimiento o criadero y pueden afectar a todo un sector, los productores en un sector individual deben compartir las responsabilidades de bioseguridad al aspirar a un nivel común de gestión de riesgos (De la Peña *et.al.*, 2018).

Movimiento de personas y vehículos.

El movimiento de personas representa un riesgo alto en la introducción de patógenos a un establecimiento a través de la piel, ropa y calzado contaminados, principalmente cuando han estado en contacto con otros animales que estén enfermos.

Para el movimiento de personas se han establecido tres niveles de riesgo: alto, medio y bajo.

- Movimientos de alto riesgo constituidos por las personas con contacto directo con animales o descargas corporales. En este nivel es importante tomar las precauciones necesarias para evitar el contacto con otros animales acuáticos y respetar los tiempos de vacío sanitario establecidos.
- Los movimientos de medio riesgo, corresponde a visitantes ocasionales o rutinarios con poco o ningún contacto con los animales y,
- Los movimientos de bajo riesgo, que son las personas que viven en área urbana sin contacto con los animales.

Como medidas de mitigación se recomienda adelantar el registro de ingreso de personas, la auto certificación o auto declaración de no haber estado en contacto con otros animales acuáticos, 72 horas antes y brindar dotación del personal para el cuidado y protección de las especies en cultivo.

Adicionalmente se debe contar con un procedimiento escrito y graficado de limpieza y desinfección de las personas que ingresan a todas las áreas y para los visitantes se recomienda suministrar overoles y establecer estaciones de desinfección de pies (Fig. 6) y manos, con el correspondiente instructivo para el mismo.



Figura 6. Estación de desinfección de pies.
Fuente: Cristóbal Botero

Otro riesgo representativo de transmisión de enfermedades entre cultivos son los vehículos como automóviles, camiones y tractores, si se tiene en cuenta que los patógenos pueden ser transmitidos por los neumáticos o el vehículo mismo (Fig. 7), por lo cual se requiere contar con un programa escrito de limpieza y desinfección para éstos, el que se debe ejecutar de acuerdo con las condiciones establecidas en dicho documento.



Figura 7. Proceso de desinfección Manual de vehículos
Fuente: Cristóbal Botero

Así mismo, establecer zonas exclusivas de estacionamiento para los vehículos o de no contar con éste, impedir el ingreso de éstos. En caso de permitir el ingreso se deben establecer estaciones de lavado de vehículos que incluyan las llantas. Igualmente se debe realizar el diligenciamiento de registros que incluyan la placa del vehículo, nombre del conductor, desinfección realizada y producto, así como la ruta elaborada



Figura 8. Vehículos de alto riesgo, utilizados en cuerpos de aguas compartidas
Fuente: Autora

Entre los vehículos que representan un alto riesgo de transmisión de patógenos están los barcos, barcazas, lanchas y planchones que se utilizan en los cuerpos de agua compartida (Fig. 8), son usados por varios establecimientos de manera simultánea y han estado en contacto con los animales acuáticos en otras granjas o han estado en contacto con los animales silvestres.

De igual forma los equipos que están en contacto con animales acuáticos se pueden contaminar y ser un alto riesgo en la transmisión de enfermedades. Estos equipos corresponden a los equipos utilizados para adelantar la cosecha, clasificación, aireación y alimentación. Al igual que las embarcaciones y vehículos es necesario que se no se comparta el equipo con otros establecimientos y se cuente con procedimientos escritos de limpieza y desinfección para cada uno. (De la Peña *et al.*, 2018 ; Chávez y Montoya., 2004).

Alimentación.

Los alimentos suministrados a los peces pueden llegar a constituirse en un producto de alto riesgo para el cultivo, si éste se llega a contaminar durante el empaque o almacenamiento o porque contenga residuos de sustancias químicas que los hayan contaminado durante el almacenamiento (Fig. 9).



Figura 9. Bodega de almacenamiento de alimento
Fuente: Autora

Los alimentos balanceados por sí mismos y producidos bajo estándares de calidad se constituyen en productos de bajo riesgo, debido a que las operaciones de tiempo y temperatura utilizados para su producción minimizan el riesgo de transmitir agentes patógenos a los animales en cultivo. Otro es el caso de los alimentos vivos, frescos o congelados que pueden presentar riesgos significativos.

Por lo anterior se recomienda adquirir alimentos balanceados producidos en casas comerciales reconocidas, que estén bajo supervisión de la autoridad sanitaria y que cuenten con el correspondiente registro e indicaciones de uso en su etiqueta. Es importante realizar el monitoreo de calidad del alimento que se consume en el establecimiento, para corroborar lo establecido en la etiqueta y que satisfaga los requisitos nutricionales de la especie en cultivo. Para el caso de alimentos vivos y frescos es necesario tener conocimiento de las condiciones sanitarias de los mismos para evitar la transmisión de enfermedades al cultivo.

Finalmente, no se deben alimentar los animales acuáticos en cultivo con la mortalidad que se presente en el mismo cultivo o en otros cultivos pecuarios, con el fin de evitar contaminación por agentes patógenos que se encuentren en la mortalidad presentada. De igual manera no se deben alimentar los animales acuáticos en cultivo con productos derivados de la misma especie.

Vigilancia de salud animal.

Es necesario establecer un procedimiento de vigilancia y monitoreo sanitario de los animales en cultivo,

que incluya la frecuencia periódica de revisión de los animales, identificar las causas de morbilidad – mortalidad, establecer medidas de control y tratamientos (Fig. 10). Esta actividad es fundamental para la detección y control de patógenos del establecimiento y para este procedimiento se requiere de la asistencia técnica de un médico veterinario capacitado en sanidad de animales acuáticos.



Figura 10. Toma de muestras para el Diagnóstico de enfermedades en peces
Fuente: Autora

El diagnóstico es la determinación de la causa de una enfermedad (patología clínica). Las técnicas utilizadas van desde la observación general hasta las herramientas biomoleculares altamente técnicas. La detección de patógenos es otra técnica de gestión de la salud que se centra en la detección de patógenos en huéspedes subclínicos o aparentemente sanos. A partir de la vigilancia y el resultado del diagnóstico efectuado se pueden establecer medidas de manejo o tratamiento oportuno que permitan controlar la enfermedad presentada.

Tratamientos.

Para el tratamiento de enfermedades, los acuicultores en muchos países consideran apropiado medicar los animales con antibióticos para combatir las

enfermedades microbianas. En algunos casos estos medicamentos suministrados son inconvenientes dado que el origen de la enfermedad no es producido por una bacteria; otros medicamentos son utilizados de manera preventiva e incluso como promotores de crecimiento.

La quimioterapia tiene valor en la prevención y el control de las enfermedades de los animales acuáticos, pero debe usarse de manera juiciosa y responsable. Estas prácticas se consideran de alto riesgo en cualquier sistema de acuicultura, por lo cual es necesario prestarle mayor atención.

Antes de utilizar medicamentos en un cultivo es necesario:

- Realizar el diagnóstico adecuado para conocer el agente etiológico causante de la enfermedad.
- La medicación debe ser realizada por un médico veterinario con experiencia en sanidad de animales acuáticos. Siempre cualquier tratamiento debe ser formulado por el médico veterinario tratante y las formulaciones se deben conservar en el establecimiento por el período que establezca la autoridad competente.
- Es importante que el medicamento actúe contra el agente patógeno presente y administrarlo en las dosis y tiempos establecidos por el médico veterinario tratante.
- Se debe respetar el etiquetado del producto, administrándolo para la especie relacionada en la misma y aplicando los tiempos de retiro prescritos, antes de trasladar los animales a plantas de proceso.

“Si bien la quimioterapia quizás siga siendo una de las principales estrategias para controlar las enfermedades transmisibles en el futuro previsible, especialmente en los peces, existe un creciente reconocimiento de sus limitaciones en términos de situaciones de acuicultura, especies hospedadoras y grupos de patógenos contra los cuales son eficaces. En algunos casos, en lugar de proporcionar una solución, pueden complicar la gestión de la salud al desencadenar toxicidad, resistencia, residuos y, en ocasiones, consecuencias para la salud pública y el medio ambiente” (Subasinghe, 2009).

¿Cuáles son los principales problemas de medicar los sistemas acuáticos con antibióticos?:

- Presencia de residuos de antimicrobianos o sus

metabolitos en los filetes destinados al consumo humano.

- Generación de resistencia bacteriana en cepas microbianas en el ambiente acuático: *“La liberación de grandes cantidades de antibióticos en el medio ambiente, debido a la producción animal (incluida la acuicultura) y al uso humano, ha llevado al desarrollo de resistencia a los antibióticos por bacterias patógenas y posibles riesgos graves para la salud humana”* (Subasinghe, 2009).

La Cuarentena como medida de gestión sanitaria para evitar el ingreso y diseminación de enfermedades.

“La cuarentena es una medida que consiste en mantener a un grupo de animales acuáticos aislados, sin ningún contacto directo o indirecto con otros animales acuáticos, para someterlos a observación durante un período de tiempo determinado y si es necesario aplicar pruebas de diagnóstico o tratamiento con inclusión de la desinfección de las aguas efluentes”. (OIE, 2018).

Existen tres tipos de cuarentena:

1. Internacional: Se realiza para reducir el riesgo de introducir patógenos hacia el país importador y su transmisión a especies susceptibles. Igualmente, para prevenir la introducción de organismos acuáticos indeseables (plagas).
2. Nacional: Se realiza para prevenir la dispersión de patógenos entre diferentes sistemas o cuencas, zonas de diferente estatus sanitario o entre departamentos
3. Instalaciones: Se aplica en establecimientos de acuicultura individuales (alevinos y engorde) para prevenir la entrada de patógenos a las instalaciones, por los reproductores o en el material genético introducido (Fig. 11).

Para el caso de las cuarentenas de importación, éstas deben ser autorizadas previamente por el Servicio Veterinario Oficial, entidad gubernamental que revisará las condiciones de infraestructura, procedimientos, equipos y personal, entre otros, para habilitar el establecimiento como una unidad de cuarentena, previo a la importación. Estas cuarentenas están sujetas a inspección, vigilancia y control permanente por parte del Servicio Veterinario Oficial, que para el caso de Colombia corresponde al Instituto Colombiano Agropecuario-ICA.



Figura 11. Unidad de cuarentena de animales acuáticos

Fuente: Autora

Como medida de gestión sanitaria en el establecimiento, los productores pueden instaurar la práctica de realizar las cuarentenas en sus instalaciones, con el fin de mantener en observación los animales recientemente adquiridos y de ser necesario adelantar diagnósticos sanitarios, antes de ingresar los animales a su sistema productivo.

Para los establecimientos que comercializan material genético, cuya calidad sanitaria debe ser óptima, se debe realizar la cuarentena tipo nacional, con el objetivo de prevenir la dispersión de patógenos entre diferentes sistemas o cuencas, zonas de estatus sanitario distinto o entre departamentos.

¿Cuándo se aplica una cuarentena?:

- Cuando se desconoce el estado sanitario individual o de una población.
- Cuando se consideran portadores de una enfermedad crítica para el país.
- Como medida de bioseguridad propia: adquirir o comercializar material genético (ovas, larvas, reproductores).

¿Qué se requiere para realizar una cuarentena?:

- Para establecer una unidad de cuarentena es importante
- Contar con personal capacitado
- Contar con infraestructura especial, que esté

aislada, con entrada y salida independiente de agua y destinada exclusivamente para adelantar la cuarentena.

- Tener acceso a un Servicio de diagnóstico confiable, autorizado por el Servicio Veterinario Oficial.
- Ser transparente en el manejo de los resultados obtenidos durante el período de la cuarentena.
- Contar con procedimientos operativos estandarizados para el manejo del agua de la unidad de cuarentena.
- Contar con procedimientos operativos estandarizados para la eliminación de desechos líquidos y sólidos de la unidad de cuarentena, que incluyan los procedimientos de higiene, limpieza y desinfección del agua, equipos y hábitat.
- Adelantar el manejo técnico de las especies cultivadas, alimentación
- Realizar el manejo adecuado de medicamentos veterinarios y administrarlos bajo prescripción del médico veterinario que supervisa la cuarentena.

- Realizar el control del movimiento de animales: ingresos y egresos de animales y productos.

- Realizar el control de ingresos de personas

- Mantener los registros separados de la unidad de cuarentena

Dentro de los procedimientos de bioseguridad establecidos durante la cuarentena es preciso contar con los registros de esta unidad, así:

Origen de los animales introducidos a la unidad de cuarentena

- Proveedor
- Fecha de arribo de los animales
- Número total de animales iniciales (importados)
- Número de animales por tanque
- Copia del certificado zoosanitario del país de origen
- Cuadros clínicos observados
- Morbilidad
- Mortalidad
- Fecha de nacimiento de la F1
- Resultados de los diagnósticos realizados a la F0 y F1 y fecha
- Número de animales destruidos
- Método de destrucción y fecha
- Fecha de liberación de la F1
- Alimentación diaria
- Desinfección
- Medicación
- Ingresos de personas a la unidad (Arthur *et al.*, 2012; Chávez y Montoya., 2004; USDA- APHIS, 2011)

Manejo de la mortalidad.

La mortalidad que se presente en cualquier sistema de acuicultura se debe retirar de manera inmediata, identificando las causas de ésta. Esta actividad hace parte de los planes de manejo de residuos sólidos y líquidos que se debe presentar ante la Autoridad Ambiental, entidad que establece el procedimiento a seguir y determina las zonas en las cuales se realiza la disposición final de los cadáveres.



Figura 12. Mortalidad de tilapia en jaulas

Fuente: Autora

En caso de presentarse mortalidad (Fig. 12), ésta deberá ser investigada por el laboratorio de sanidad para establecer las causas y tomar las medidas pertinentes. El monitoreo, registro y análisis de los datos de morbilidad y mortalidad son fundamentales para una bioseguridad efectiva. (Huang, 2017).

Control de plagas, vectores, fauna silvestre y doméstica.

Para evitar la transmisión de enfermedades por estos tipos de vectores es importante aislar la infraestructura que contiene los peces y colocar barreras para evitar el ingreso de animales silvestres y domésticos (Fig. 13). En caso de mantener perros guardianes es necesario que estén ubicados bajo condiciones de bienestar animal y alejado de la zona productiva. Así mismo, estar sujetos a control veterinario y mantener al día las vacunas y sus adecuados controles médicos para garantizar igualmente la salud de éstos.



Figura 13. Mallas externas para evitar el ingreso de plagas

Fuente: Autora

Adicionalmente, para evitar la proliferación de plagas se deben establecer buenas prácticas de manejo para los alimentos, tales como mantener las bodegas de almacenamiento ordenadas, limpias y cerradas, disponer los bultos sobre estibas, evitar el contacto de los bultos con las paredes, mantener empaques en buen estado, almacenar los alimentos bajo condiciones adecuadas de humedad y temperatura, contar con un sistema para la disposición final de las basuras y desperdicios y contar con un control de plagas y roedores.

Procedimiento escrito de limpieza y desinfección.

Se deben establecer los procedimientos de limpieza y desinfección de todas las instalaciones, infraestructura y equipos, incluidas las redes, cubetas, mallas, mangueras, lanchas, tuberías, ya que los objetos inanimados pueden transferir patógenos entre las áreas de cría o los sitios de producción. Los elementos resultan contaminados después del contacto con animales acuáticos infectados o fuentes de agua contaminadas.

Es importante no compartir materiales y equipos con otros establecimientos de acuicultura. En caso requerido se deben establecer las medidas de limpieza y desinfección para evitar la transmisión de enfermedades.

Igualmente, una medida de gestión sanitaria recomendada es realizar vacío sanitario de manera periódica, con el fin de cortar con los ciclos de algunos patógenos que pueden permanecer en el fondo y paredes de las instalaciones.

- Residuos

Los productos de desecho como los animales muertos, el procesamiento de agua, el procesamiento de desechos y la limpieza de efluentes pueden ser vectores para la transmisión de enfermedades a un establecimiento de acuicultura, por lo tanto se requiere una infraestructura y procedimientos adecuados para gestionar los riesgos de enfermedad asociados con estos productos de desecho y cumplir con las medidas establecidas por la Autoridad Ambiental dentro del Programa de manejo de residuos sólidos y líquidos.

Registros.

En todo sistema productivo y como parte del Plan de Bioseguridad es necesario registrar toda la información sobre las actividades adelantadas en el cultivo.

“La evaluación de los registros de producción puede ayudar a detectar problemas de enfermedades y a resaltar su severidad (p. ej. aumentos graduales frente a aumentos repentinos en la tasa de mortalidad), y a menudo brinda información para el diagnóstico de enfermedades. Además, la evaluación de los registros del establecimiento puede ayudar a detectar infecciones subclínicas y situaciones potenciales de brotes de enfermedades, o a identificar regímenes eficaces e ineficaces de tratamiento” (USDA-APHIS, 2011).

Los registros deben incluir el origen de todos los animales en la granja, los movimientos de animales hacia, dentro y desde la granja y los registros del personal y de los visitantes. Esta información permitirá el rastreo de contactos para determinar el posible origen de un brote de enfermedad y la posible extensión de su propagación dentro o fuera de la granja.

La información sobre el estado de salud de los animales ayudará a identificar cualquier problema de enfermedad emergente y optimizar las condiciones de cría. El nivel de detalle requerido dependerá de las circunstancias del establecimiento y del nivel de riesgo percibido. Esta información puede incluir numerosas fuentes de información, tales como:

- Origen de los animales introducidos al establecimiento
- Proveedor
- Fecha de arribo de los animales
- Número total de animales iniciales
- Número de animales por tanque
- Registros de manejo (por ejemplo, densidades de población, tasas de alimentación y tasas de crecimiento)
- Cuadros clínicos observados
- Morbilidad
- Mortalidad
- Resultados de los diagnósticos realizados
- Aplicación de tratamientos o vacunas
- Número de animales destruidos
- Método de destrucción y fecha

- Alimentación diaria
- Desinfección
- Ingresos de personas a la unidad

Expresado de otra manera, hay que hacer las cosas bien y dar fe de ello.

Programa de entrenamiento de Personal.

Es importante instaurar programas de capacitación interna en el establecimiento para garantizar que todo el personal comprenda sus funciones, responsabilidades y la influencia de su trabajo en el desarrollo del plan de bioseguridad de éste (Fig. 14).



Figura 14. Entrenamiento del personal

Fuente: Archivo ICA

Entre los principales temas que se deben incluir en el programa de capacitación se encuentran: Medidas de Bioseguridad, detección temprana de enfermedades, prevención de enfermedades, características de las enfermedades presentadas en la especie cultivada y su control, procedimiento de notificación de enfermedades, toma y envío de muestras al laboratorio para diagnóstico, listado de laboratorios autorizados para diagnóstico, manejo adecuado de productos veterinarios de acuerdo con las recomendaciones del Médico Veterinario, disposición y manejo de la mortalidad y los procedimientos operativos estandarizados que respaldan el plan de bioseguridad del establecimiento, así como protocolos de atención de emergencias.

Las jornadas de capacitación deben ser documentadas y evaluadas.

Evaluación de los planes de bioseguridad.

Es importante realizar la revisión y evaluación del Plan de Bioseguridad establecido en cada establecimiento, con el objetivo de determinar la viabilidad de las actividades propuestas, el avance en la implementación de nuevas medidas, la eficacia de los protocolos y la necesidad de procedimientos adicionales.

Esta revisión se debe adelantar para cada uno de los Planes operativos que se tienen para todas las unidades del establecimiento y las diferentes etapas de producción y especies que se cultiven. Para desarrollar esta evaluación se recomienda que el asesor técnico del cultivo establezca listas de chequeo por proceso, que le permita revisar y confrontar cada uno de los procesos instaurados.

Plan de bioseguridad al nivel local (municipio, zona, departamento).

Además de las condiciones establecidas en el Plan de Bioseguridad a nivel de establecimiento, se incluyen:

- Registro de establecimientos
- Identificación de los animales
- Trazabilidad
- Sistema de notificación de enfermedades
- Sistema sólido de diagnóstico
- Medidas de control de enfermedades

Plan de bioseguridad al nivel país

Estas medidas incluyen la intervención del Estado para establecer y garantizar el estatus sanitario del país, que permitirá tener el acceso a mercados para exportación en cumplimiento con lo requerido por los países compradores y de acuerdo con lo recomendado por la Organización Mundial de Sanidad Animal-OIE. Esto incluye:

- Control a las importaciones
- Registro de establecimientos
- Identificación de animales
- Trazabilidad
- Vigilancia sanitaria

- Notificación de enfermedades
- Medidas de control de enfermedades
- Planificación de contingencias
- Control de exportaciones

Conclusiones

- La bioseguridad es un procedimiento vital para mantener el control de las enfermedades que puedan afectar a los animales en cultivo.

- Las enfermedades pueden no ser siempre visibles, especialmente en las primeras etapas. La solución es establecer y mantener excelente bioseguridad.

- Una excelente bioseguridad se basa en el trabajo colaborativo entre acuicultores, veterinarios y autoridades oficiales.

- Aplicar los pequeños detalles ahora puede evitar la necesidad de realizar tareas importantes más adelante.

Referencias

- Arthur, J.R. y Bondad-Reantaso, M.G. (2012). Introductory training course on risk analysis for movements of live aquatic animals. FAO SAP, Samoa. 167 p.
- Arthur, J.R., Bondad-Reantaso, M.G. y Subasinghe, R.P. (2012). Procedimientos para la cuarentena de animales acuáticos vivos: un manual. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura. No.502. Roma, FAO. 78 p.
- Chávez S., M. y Montoya, L. (2004). Medidas de Bioseguridad para evitar la introducción y dispersión de enfermedades virales en granjas camaronícolas. En: Cruz Suárez, L. E., Ricque Marie D., Nieto López, M.G., Villarreal, D., Scholz, U y González, M. (Eds). Avances en Nutrición Acuicola VII. Memorias del VII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. 16-19 noviembre, 2004. Hermosillo, Sonora, México.
- De la Peña, L., Somga, J. y Baliao, D. (2018). Biosecurity in Aquaculture: Philippines. Stakeholder Consultation on Progressive Management Pathway (PMP) to Improve Aquaculture Biosecurity. World Bank Headquarters, Washington, D.C. 10-12 April 2018.
- Huang, J. (2017). The role of biosecurity in aquatic animal health. Qingdao. Conference National Aquatic Animal Health Task Force -NAAHP.2008. National Aquatic Animal Health Plan for the United States.
- Organización Mundial de Sanidad Animal- OIE. (2000). International Conference on Risk Analysis in Aquatic Animal Health. Paris, 8 -10 Febrero. <https://www.oie.int/doc/ged/D11248.PDF>
- Organización Mundial de Sanidad Animal- OIE. (2018). Código sanitario para los animales acuáticos. <https://www.oie.int/es/normas/codigo-acuatico/acceso-en-linea/>
- Scarfe, D. (2015). Practical Approaches to Implementing Aquaculture Biosecurity Programs & Meeting OIE Standards & Regulations. USAHA/AAVLD Annual Meeting; Aquaculture Committee. Conference.
- Sub-Committee on Aquatic Animal Health (SCAAH) (2016). Aquaculture Farm Biosecurity Plan: generic guidelines and template. Department of Agriculture and Water Resources, Canberra [January]. CC BY 3.0.
- Subasinghe, R. (2009). Disease control in aquaculture and the responsible use of veterinary drugs and vaccines: the issues, prospects and challenges. En : Rogers, C. y Basurco, B. (Ed.). *The use of veterinary drugs and vaccines in Mediterranean aquaculture*. Zaragoza : CIHEAM, p. 5-11.
- USDA-APHIS. (2011). Programa Nacional De Acreditación Veterinaria. Módulo 15: Bioseguridad y prevención de enfermedades en la Acuicultura.

CAPÍTULO 5

BASES DE LA REPRODUCCIÓN Y PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE PECES

MIGUEL ÁNGEL LANDINES¹, JOSÉ ARIEL RODRÍGUEZ PULIDO² Y MÓNICA T. NIETO-VERA³



Introducción

El avance de la acuicultura en Colombia y en el mundo representa un nuevo modelo y alternativa para superar la deficiente oferta de proteína de origen animal y se constituye en una real contribución en la solución de algunos problemas sociales, como uno de los subsectores agrícolas más prometedor para aumentar la disponibilidad de proteína y la generación de divisas.

El consumo de peces logró un incremento per cápita, que varió de 9,0 kg en 1961 a 20,5 kg en el 2018. En el año 2016, la acuicultura continental tuvo una producción de 51,4 millones de toneladas, con un aumento de 2,8 millones en relación al año 2015, llegando a superar a la pesca de captura como fuente de proteína (FAO, 2018).

La razón de dicho incremento, entre otros, se debe a la disminución de los recursos pesqueros, tanto marinos como continentales, no sólo por sobre pesca, pesca ilícita con mallas y dinamita sino por la destrucción de sus hábitats, como consecuencia de la deforestación de las cuencas, que han aumentado la sedimentación de los ríos y desecación de humedales; así mismo el uso excesivo de agroquímicos y pesticidas que terminan en los cauces, amenazando los nichos de alimentación, reproducción y protección de muchas de las especies nativas y la alteración de ecosistemas con diversas obras hidráulicas (represas, diques, bocatomas, entre otros.) sin criterios ambientales (Rodríguez-Pulido *et al.*, 2016).

La acuicultura continental en Colombia se reduce casi exclusivamente al cultivo de organismos foráneos

como camarón blanco (*Pennaeus vannamei*), tilapia (*Oreochromis* sp.) y trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), siendo limitada la oferta de especies nativas como cachama (*Piaractus orinoquensis*), yamú (*Brycon amazonicus*) y bocachico (*Prochilodus mariae*), que alcanzan mercados regionales pero con un bajo nivel competitivo en la cadena piscícola colombiana, sin llegar a mercados internacionales dado que se acostumbra incorporar estos paquetes a los cultivos comerciales, sin explorar la oferta ambiental en cada región y a lo que se suma la baja inversión en proyectos de investigación desde la academia (Rodríguez-Pulido *et al.*, 2016).

Por consiguiente se deben realizar investigaciones tendientes a aumentar el conocimiento de la biología básica de las especies, la disponibilidad de alevinos de especies nativas, recuperar los hábitats, disminuir el esfuerzo pesquero ejercido sobre estos y mejorar en general el beneficio socioeconómico de la acuicultura en el país.

Una característica particular de los peces es que además de la escasa información disponible sobre su biología se infiere que no existe un modelo único de reproducción, sino que por el contrario, existe una gran variabilidad y por tanto los mecanismos implicados en el control de la reproducción son múltiples y totalmente influenciados por el medio ambiente en que viven las especies (Taranger *et al.*, 2010). Es así como los individuos sexualmente aptos pueden identificar los lugares adecuados para su reproducción y el momento propicio para hacerlo. De este modo la reproducción se llevará a cabo en los sitios con características óptimas de temperatura, oxígeno, pH, corrientes, etc. y en

¹Zootecnista, Ph. D. Profesor Asociado. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia. malandinezp@unal.edu.co

²Biólogo, M.Sc., Ph.D. Grupo de Investigación en Reproducción y Genética Animal (GIRGA). Universidad de los Llanos. jarodriguez@unillanos.edu.co

³Bióloga. Grupo de Investigación en Reproducción y Genética Animal (GIRGA). Universidad de los Llanos. monica.nieto@unillanos.edu.co

lugares donde abunde el alimento y no haya presencia de predadores (Jimenez *et al.*, 2013).

En conclusión se puede afirmar que cualquiera que sea el modo reproductivo de determinada especie, siempre buscará perpetuarse valiéndose para ello de diversas tácticas, estrategias y mecanismos reproductivos.

Por lo anterior es necesario tener en cuenta que el cautiverio afecta de una manera importante las funciones fisiológicas de los peces y en muchos casos, una o varias etapas del proceso reproductivo se ven afectadas negativamente, situación que hace imprescindible dirigir los esfuerzos al estudio de técnicas de reproducción artificial. La importancia de estas técnicas se basa en la necesidad de proporcionar un número suficiente de semilla para sustentar un nivel de producción continuo y constante (Rodríguez-Pulido, 2011; Cruz *et al.*, 2010; Valbuena-Villarreal *et al.*, 2010).

Mecanismos Reproductivos de los Peces

Los mecanismos de reproducción en los peces son muy variados presentándose por lo menos tres modelos diferentes: bisexual o gonocorístico, partenogénesis y hermafroditismo. Sin embargo, la hibridogénesis y superfecundación ha sido incluida dentro de los mecanismos reproductivos (Saborido-Rey, 2008).

Se sabe que existen especies que se reproducen de manera continua, cíclica (anual o estacional) o única a lo largo de su vida y que el grado de fecundidad de los peces y la duración del periodo de puesta también varía según las especies (da Silva Ribeiro y Moreira, 2012; Ajiaco-Martínez y Ramírez, 2002; Ramírez-Gil, 2010; Rivera *et al.*, 2010). La clasificación más común incluye los siguientes mecanismos:

Bisexual: está presente en la mayoría de las especies y corresponde al mecanismo en el cual los gametos sexuales se desarrollan en individuos macho y hembra separados. Dentro de esta modalidad podemos citar principalmente tres tipos, aunque en algunas ocasiones es común encontrar clasificación de un cuarto tipo de reproducción. Los tipos de reproducción incluidos en este mecanismo según Vazzoler (1996) son:

Ovoparidad: Los productos sexuales son fertilizados dentro de la madre, mientras que el desarrollo embrionario tiene lugar fuera de ella.

Ovuliparidad: Tanto la fertilización como el desarrollo del embrión son externos.

Ovoviviparidad: El desarrollo embrionario al

igual que la fertilización se llevan a cabo dentro de la madre; sin embargo, el nuevo individuo es liberado al exterior aún dentro del huevo.

Viviparidad: Con similares características que el anterior, con la única variación de que se obtienen individuos ya desarrollados y al nacer pueden nadar libremente e ingerir su propio alimento. Mientras se sucede el desarrollo del embrión este depende nutricionalmente de la madre.

Hermafrodita: Tipo de intersexualidad, caracterizado por la presencia de los dos sexos en un solo individuo, el cual en caso de poderse autofecundar se llamará hermafrodita verdadero. El hermafroditismo puede ser simultáneo o secuencial. En el primer caso las estructuras femeninas y masculinas se presentan en un mismo individuo a la vez, mientras que en el segundo caso se refiere a un organismo protándrico cuando el pez funciona primero como macho o protogínico cuando su primera función la realiza como hembra.

Partenogénesis: Consiste en el desarrollo de un óvulo sin fertilización. En verdad se debería hablar de Ginogénesis y sería el mecanismo mediante el cual una hembra se aparea con un macho de una especie afín (Ej: *Poecilia formosa*), pero el espermatozoide cumple con la función de iniciar el desarrollo en el óvulo, pero no participa en la herencia para el nuevo individuo. Por este motivo la descendencia siempre será de hembras las cuales serán triploides y no presentarán característica alguna aportada por su padre.

Hibridogénesis: Mecanismo mediante el cual el óvulo de una hembra es fertilizado por un espermatozoide de una especie afín, el cual mediante fusión de gametos puede originar un híbrido verdadero que originará una descendencia homogameteica.

Superfecundación (superfertilización): Consiste en que se lleva a cabo una fertilización interna a una hembra, la cual puede almacenar el esperma en su ovario por periodos de tiempo relativamente largos, pudiendo fertilizar varios lotes de oocitos con el esperma allí almacenado o con nuevos espermas.

Anatomía Macroscópica de las Gónadas en Teleósteos

En la mayoría de teleósteos durante el desarrollo embrionario (gástrula) a partir del epitelio peritoneal correspondiente al córtex se desarrollan los primordios gonadales, bajo el riñón, aunque no existe evidencia de que el mesonefros contribuya en su formación (Freitas *et al.*, 2013; Wong y Zohar, 2015). Así primero los ovarios se forman en la periferia del primordio, en

tanto que los testículos se diferencian en la región central y de manera más tardía, allí migrarán las células germinales. Por ello Valentin (2013) reporta la conformación de ovariotestis en *Pseudoplatystoma* desde los treinta días pos-fertilización. Los primordios gonadales y las células germinales culminan su diferenciación asociados a RNA codificados entre otros por el gen VAS (Devlin y Nagahama, 2002; Dranow *et al.*, 2013). Así como la presencia de estrógenos y/o aromatasa juegan un papel importante en la diferenciación sexual (Guiguen *et al.*, 2010; Dranow *et al.*, 2013).

Ovario

En general el ovario de los teleósteos se presenta

como dos sacos alargados, situados a cada lado del cuerpo unidos a la cavidad corporal, en posición ventro-lateral a la vejiga hidrostática unidos a la pared celómica (esplacno-pleura) por el mesorquio. (Fig. 1).

En muchos teleósteos las paredes de las gónadas se extienden hacia atrás formando gonoductos así:

- Terminan en el celoma sin comunicación directa al poro genital, conocida como gimnoaria o condirectina (de Eyto *et al.*, 2015).

- Se fusionan y abren en el poro genital. Condición cistoaria (França *et al.*, 2010)

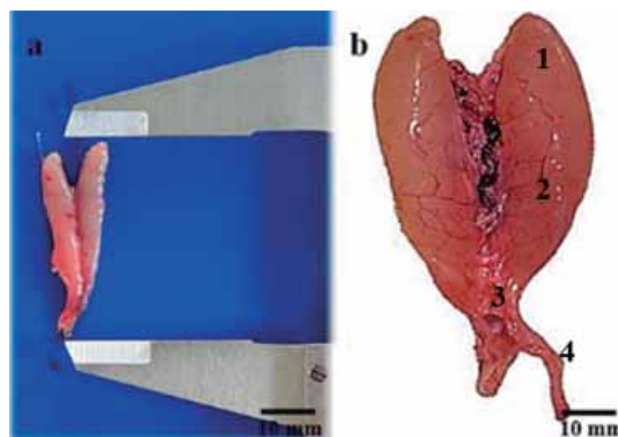


Figura 1: Fotografía de ovario de Rayaque (*Pseudoplatystoma metaense* x *Leiarius marmoratus*). A) vista normal. B) vista en detalle: 1. región cefálica, 2. región medial, 3. región caudal y 4. Oviducto. Fuente: José A. Rodríguez

Testículo

Generalmente los teleósteos presentan testículos pares de forma alargada (Fig. 2), localizados en posición ventral a la columna vertebral y a la vejiga hidrostática, prolongándose en dirección caudal por el canal deferente. De la superficie medio dorsal posterior de cada testículo se origina un espermiducto que desemboca en la papila urogenital, ubicada entre

el recto y los ductos urinarios (Freitas *et al.*, 2013).

Sin embargo, se encuentran múltiples formas de testículos que van desde los sacos elongados de muchos Carácidos a los tractos reproductivos digitiformes típicos de los bagres, en los que inclusive pueden llegar a presentar vesículas seminales y gonopodios (Loir *et al.*, 1989; Mira López *et al.*, 2010a; Rodríguez-Pulido, 2011).

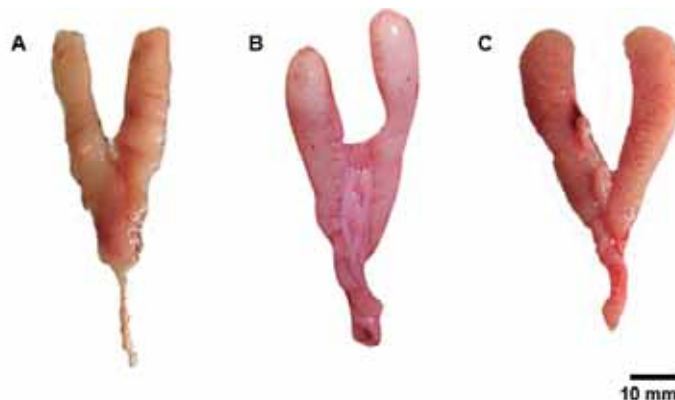


Figura 2: Testículos de *Hypophthalmus edentatus* durante 4 fases hidrobiológicas: A. Maduración (aguas subiendo), B. Maduro (aguas altas y aguas bajando), C. Vacío (aguas abajo). (Fuente: Villamil-Rodríguez, 2018).

La forma estructural de los testículos varía de acuerdo con la especie, pero las dos más comunes según (Taranger *et al.*, 2010; Mira López *et al.*, 2010a; Dranow *et al.*, 2013; Arantes *et al.*, 2013; Melo *et al.*, 2011; Brown-Peterson *et al.*, 2011) son:

- Estructura tubular: Conformación restringida a los Ateriniformes (guppy, *Poecilia reticulata*), presenta tubos orientados entre las tunicas externas y la cavidad central, dentro de la cual los espermatozoides son liberados, la maduración se hace del extremo del túbulo hacia la luz.
- Estructura lobular: Conformación que se encuentra presente en la mayoría de los teleósteos. Está compuesta por una serie de lóbulos separados por tejido conectivo fibroso.

En el interior de los lóbulos, las espermatogonias presentan numerosas divisiones mitóticas originando grupos celulares o cistos, caracterizados por presentar el mismo estado de desarrollo, lo que indica que estos cistos de células germinales se originan de una única célula. Al producirse la espermatogénesis, los cistos se expanden y se rompen liberando las células espermáticas dentro del lumen lobular, pasando luego al conducto espermático. Las células germinales se producen de manera sincrónica o asincrónica, dentro de un ciste espermático delimitado por prolongaciones citoplasmáticas de las células de Sertoli (Meisner *et al.*, 2000; Rivera *et al.*, 2010).

De forma general el testículo de los teleósteos comprende una parte lobular y una intersticial. La primera consta de células limítrofes, membrana basal, células germinales y células de Sertoli (equivalentes a las Células de Sertoli de los mamíferos). La segunda contiene células intersticiales, fibroblastos, vasos sanguíneos y linfáticos, células de Leydig, colágeno y otros componentes celulares.

Células germinales: Las espermatogonias representan las células madre del epitelio seminífero, son grandes células de núcleo esférico denso en cromatina, prominente nucléolo, ribosomas libres, retículo endoplásmico liso y granular, mitocondrias esféricas y un sistema doble de membranas provistas de poros, conocidos como “lamellae annulata” (Batlouni *et al.*, 2005; Batlouni *et al.*, 2006; Prieto Mojica, 2007).

Células de sertoli: Las células proveen factores necesarios para la sobrevivencia, proliferación, diferenciación y fagocitosis de las células germinativas (Prieto Mojica, 2007). Son las encargadas de transportar metabolitos a las células germinales

(Prieto Mojica, 2007; Mira López *et al.*, 2010a), están interconectadas “tight junctions” formando una barrera hemato-testicular funcional, que además confiere sustentación a las células germinales dentro de los cistos espermatogénicos (Batlouni *et al.*, 2005; Batlouni *et al.*, 2006).

Desarrollo de los Productos Sexuales

Ovogénesis

El folículo ovárico de los teleósteos es relativamente simple. En fases tempranas del desarrollo, los oocitos están rodeados por una capa de células foliculares. A medida que crece, las células foliculares se incrementan y se diferencian para formar una capa folicular continua y unicelular, llamada granulosa, separada del oocito por el tejido conectivo del estroma que se organiza formando la teca o envoltura folicular externa. Ambas capas están separadas por la membrana basal.

Como la mayoría de los vertebrados inferiores, el crecimiento del oocito es largo y el aumento de tamaño considerable. El proceso de crecimiento primario continúa durante toda la vida de los peces que desovan repetidamente y los oocitos previtelogénicos están presentes en el ovario durante todo el año (Fig. 3). En general, cada año se forman nuevos oocitos, como consecuencia de las divisiones oogoniales, de manera que los oocitos de nueva formación no madurarán hasta el próximo año.

Una vez finalizadas las divisiones oogoniales, el oocito no posee más inclusiones que una célula somática cualquiera y se distingue por las transformaciones que tienen lugar durante la vitelogénesis.

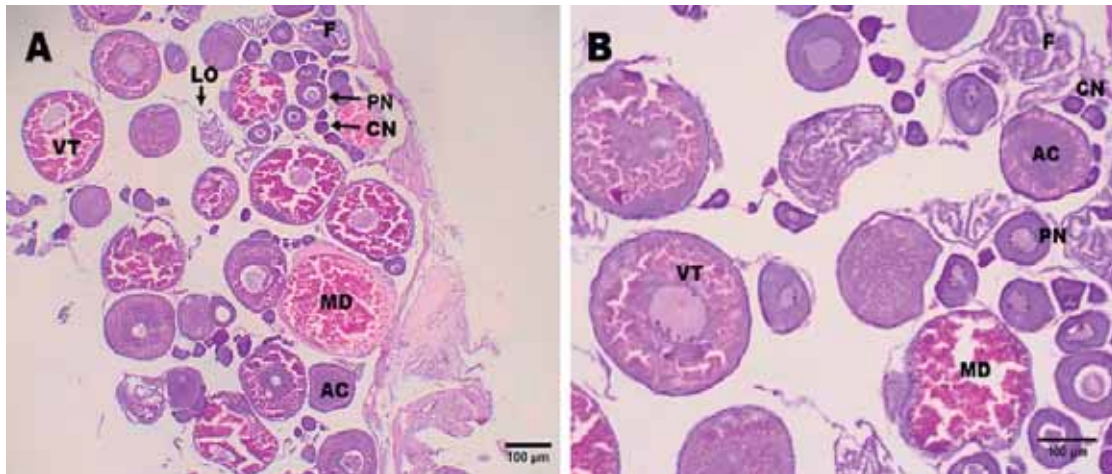


Figura 3: Microfotografía de ovario *Hypophthalmus edentatus* en cuatro fases de un ciclo hidrológico. A. Maduración (aguas subiendo), B. Madura (aguas altas – bajando – bajas). Cromatina nucleolar (CN), Perinucleolar (PN), Alvéolo cortical (AC), Vitelogénico (VT), Maduro (MD), Lamela ovígera (LO), Folículo pos ovulatorio (F). Hematoxilina-Eosina. 4x. Fuente: Villamil-Rodríguez, 2018

El conjunto de acontecimientos que tienen lugar en el ovario, se puede resumir así:

- Transformación de oogonias en oocitos: multiplicación de oogonias por mitosis - transformación en oocitos (primera división meiótica).
- Vitelogénesis: endógena - exógena.
- Maduración: clarificación del vitelo - breakdown - migración del núcleo.
- Ovulación: expulsión del oocito fuera del folículo.
- Atresia: rotura de la zona radiada - formación de cuerpos atrésicos.

Transformación de las oogonias en oocitos

Las oogonias se multiplican en el ovario por división mitótica. Su transformación en oocitos primarios tiene lugar en el momento en que entran en la primera división meiótica. Las oogonias se encuentran distribuidas en el ovario de una manera no uniforme, aisladas o formando grupo. Se encuentran presentes en el ovario a lo largo de todo el año (França *et al.*, 2010) y su abundancia relativa varía con las especies y con la época del año (Valdebenito *et al.*, 2011; Martins *et al.*, 2012; França *et al.*, 2010; Garnayak *et al.*, 2013).

Los oocitos antes de entrar a la fase de vitelogénesis presentan cambios a nivel de citoplasma y núcleo, variando considerablemente su aspecto. El cambio más notorio es su crecimiento y el comienzo de la

diferenciación de las células del folículo (Garnayak *et al.*, 2013; Maitra *et al.*, 2013).

Una vez finalizado el primer crecimiento de los oocitos, estos se dispersan dirigiéndose aisladamente al estroma ovárico, en ese momento se les denomina oocitos previtelogénicos. En esta fase permanecen hasta que las condiciones externas activen los mecanismos hormonales de reproducción (França *et al.*, 2010; Valentin, 2013), como se ha demostrado en bagres (Valentin, 2013; Méndez-Marín *et al.*, 2012) y sus híbridos (Sutthi *et al.*, 2014).

Vitelogénesis

Esta fase se caracteriza por una alta tasa de crecimiento del oocito, el cual es generado por la inclusión de material nutritivo o vitelo, al interior del ooplasma.

En la vitelogénesis se habla de dos orígenes.

El endógeno que consiste en la aparición de remanentes citoplasmáticos internos en la periferia del oocito, llamados vesículas de vitelo. Estas vesículas aumentan en número y tamaño a medida que evoluciona el proceso, dirigiéndose hacia la membrana nuclear, es cuando aparecen las primeras inclusiones lipídicas y el citoplasma aumenta considerablemente de tamaño. La zona radiada empieza a distinguirse y se define bien las células foliculares y la membrana basal.

La vitelogénesis exógena se presenta cuando aparecen las segundas inclusiones de vitelo, denominadas gránulos de vitelo. Estos gránulos al igual que las vesículas aparecen en la periferia y son captadas al interior del oocito por micropinocitosis, allí desplazan

a las vesículas del vitelo hacia la periferia, tomando el lugar de estas alrededor del núcleo. Los gránulos de vitelo aumentan de tamaño ocupando todo el ooplasma, provocando una fusión de las inclusiones lipídicas, dando como resultado la disminución del número de éstas. La zona radiata aumenta de tamaño al igual que las células de la granulosa, la teca se hace más visible y adquiere mayor irrigación sanguínea (Valdebenito *et al.*, 2011). Esta última inclusión de vitelo que incluye vitelogeninas hepáticas y otros compuestos, proporcionan el mayor crecimiento al oocito.

Finalizando este crecimiento, el núcleo en posición

central permanece en su fase meiótica, listo para madurar.

Maduración

Una vez terminado el crecimiento vitelogénico del oocito comienza el proceso de maduración. Este estado se caracteriza por la clarificación del vitelo (fusión de los gránulos de vitelo), la migración del núcleo a la periferia y un incremento en el tamaño del oocito proporcionado por la hidratación, la cual provoca una disminución en el grosor del folículo y la zona radiata (Fig. 4). En este estado el oocito está próximo a la ovulación.

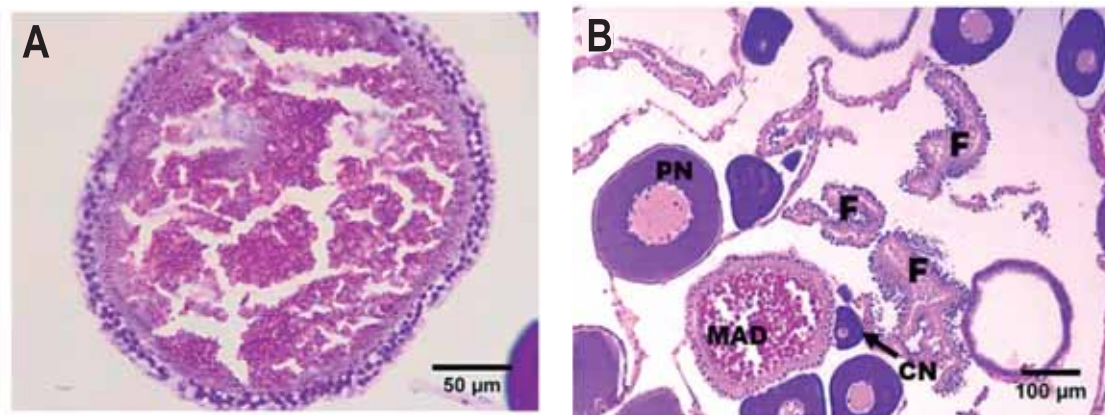


Figura 4: Microfotografía de oocitos: A. Maduro (40x), B. Vista general de folículos pos ovulatorios. Cromatina nucleolar (CN), Perinucleolar (PN), Maduro (MAD), folículo pos ovulatorio (F). Se observan células de mayor (MAD) tamaño dado el gran número de gránulos de vitelo. Hematoxilina-Eosina. Fuente: Villamil-Rodríguez, 2018

Ovulación

Una vez ha finalizado la migración del núcleo hacia el micrópilo y su membrana se ha diluido (Breakdown), las microvellosidades de las células foliculares y el oocito se separan de la membrana o corión mediante un proceso enzimático proteolítico y el oocito maduro e hidratado es expulsado hacia la cavidad ovárica en un evento mecánico producido por las contracciones de las células tecales. El folículo vacío se contrae y se pliega en una especie de bolsa que se adhiere al epitelio germinal (França *et al.*, 2010).

Los oocitos ovulados continúan con la meiosis hasta la metafase, estado en el cual es posible la fertilización de los oocitos. El tiempo de permanencia de los óvulos en la cavidad ovárica depende de la especie y de los factores externos que predisponen el desove (Méndez-Marin *et al.*, 2012; Maitra *et al.*, 2013).

Los oocitos que no alcanzan la madurez total son reabsorbidos, originando cuerpos atresicos, que son fagocitados por las células de la granulosa, una vez terminada ésta digestión se observa residuos

uniformes de células que terminan por desaparecer (Garnayak *et al.*, 2013).

Escala de maduración: es de aclarar que las escalas encontradas en la literatura son numerosas, pero en general todas siguen más o menos un patrón tanto para hembras como para machos.

Inmaduro: Es un animal que aún no está en actividad sexual, con ovarios pequeños que está comenzando las divisiones celulares.

Reposo: Es un animal que a pesar de haber tenido su primera ovulación, su gónada no está en actividad y las características son semejantes al anterior, teniendo SIEMPRE como diferencia el mayor tamaño si es comparado con el ovario inmaduro.

Maduración: Algunos autores la dividen en maduración inicial y final dependiendo de la cantidad de oocitos vitelogénicos, del tamaño del ovario y de la vascularización que presenta el mismo (Garnayak *et al.*, 2013).

Maduro: Animales que tienen en su mayoría oocitos maduros y algunos pocos vitelogénicos. En la etapa final, la mayoría de los oocitos presentan un núcleo irregular y migrado hacia la periferia. Después vendrá la ovulación y el desove (Villamil-Moreno y Arias-Castellanos, 2011).

Vacío: el ovario tiene una apariencia flácida y se encuentran restos de los óvulos.

Atresia: Valdebenito *et al.*, (2011), caracterizaron la fase que se había creído única de peces en cautiverio, que al no desovar reabsorberían los óvulos. En el medio natural siempre se hablaría de vacío (desovado) (Cal *et al.*, 2010).

Finalmente, se han clasificado diferentes tipos de estrategias reproductivas que dependen del desarrollo de los oocitos en el ovario.

- **Sincronismo total:** a este grupo pertenecen las especies que ponen una sola vez en su vida, postura y muerte y se caracteriza por tener todos sus oocitos en un mismo estado de desarrollo. La característica en este tipo de ovario es que no existen oocitos en stock de reserva para futuros desoves, por ello el tipo de desove en estas especies se denomina ÚNICO. Ej. Ribullos, anguila y salmón del Pacífico (de Eyto *et al.*, 2015).

- **Sincronismo por grupos:** peces con intervalos de puesta relativamente cortos, cuyos ovarios contiene al menos dos grupos de oocitos en estados evolutivos diferentes.

- **Sincronismo en dos grupos:** en el ovario se pueden apreciar dos lotes de oocitos. Uno que serían los oocitos de stock de reserva y otro que serían los oocitos que van a madurar hasta ser desovados durante el periodo de desove. En este periodo “todo” ese lote sería desovado y se hablaría de desove TOTAL. Otro lote comenzaría a madurar para el próximo periodo de desove y así sucesivamente (Valbuena-Villarreal *et al.*, 2010).

- **Sincronismo en más de dos grupos:** existen varios lotes de oocitos dentro del ovario. Uno que serían los oocitos de stock de reserva y otros que estarían en diferentes fases de maduración. Cada lote alcanzaría la maduración individualmente y de manera sincrónica. Cuando existen lotes maduros son desovados y es cuando se habla de desove MÚLTIPLE O PARCELADO. La característica es que en el ovario debe haber por lo menos tres lotes diferentes de oocitos y que en cada época de desove por lo menos dos son desovados. (Garnayak *et al.*, 2013).

- **Asincrónicos:** en este caso los peces ovulan los oocitos en diversas oportunidades en el transcurso de su época de puesta, la cual suele ser muy espaciada. Los ovarios en este grupo contienen oocitos en todos los estados de desarrollo y NO están distribuidos en lotes. Los oocitos que van madurando son desovados y no existe época de desove definida, se habla de desove INTERMITENTE. Ej. tilapia y el lenguado.

- **Asincrónicos parcelados:** ovulan en diferentes épocas de año y varias veces al año como el caso de *Otocinclus spectabilis* (Villamil-Moreno y Arias-Castellanos, 2011).

Espermatogénesis

Este proceso consiste en la transformación de una espermatogonia en un espermatozoide funcional determinada por una compleja serie de eventos hormonales. En el testículo existen varios tipos de espermatogonias, dependiendo del estado de madurez sexual, las cuales proliferan en los lóbulos testiculares durante el periodo de reposo sexual.

En general, las primeras generaciones de espermatogonias se identifican por la talla del núcleo y la última por la talla de los cistes, las cuales mediante divisiones celulares forman grupos de espermatocitos al ir avanzando la maduración gonadal, por ello cada grupo de células tiene el mismo desarrollo espermatogénico, lo que supone un origen común para todas ellas. Al ir creciendo estos lotes celulares el diámetro de la sección se incrementa.

En términos de desarrollo de las células germinativas, estas se producen en el interior de los cistos de manera sincrónica y están limitados por células de sertoli y sus prolongaciones (Fig. 5) (Loir *et al.*, 1989; Valentin, 2013; Prieto Mojica, 2007; Martins *et al.*, 2012) hasta la fase de espermatocito pre-paquitenico se constituyen en clones de una espermatogonia pero después del crosinover los espermatocitos secundarios y espermatozoides son diferentes genéticamente (Lo Nostro *et al.*, 2003).

Según Martins *et al.*, (2012) la espermatogénesis cística se caracteriza porque las células germinativas están unidas por puentes citoplasmáticos y sólo al final de la espermatogénesis se rompe el ciste liberando los espermatozoides al lumen tubular, generándose un mecanismo sincrónico. En la espermatogénesis semicística, los cistos se abren aún antes de terminar la espermatogénesis y la distribución de metabolitos se da en el lumen de los lóbulos o túbulos donde hay células en diferente nivel de diferenciación dando lugar a una espermatogénesis asincrónica.

Básicamente la espermatogénesis en teleósteos puede ser dividida en etapa de proliferación, división

mitótica de espermatogonias, espermiogenesis con división meiótica y espermiación (Valentín, 2013).

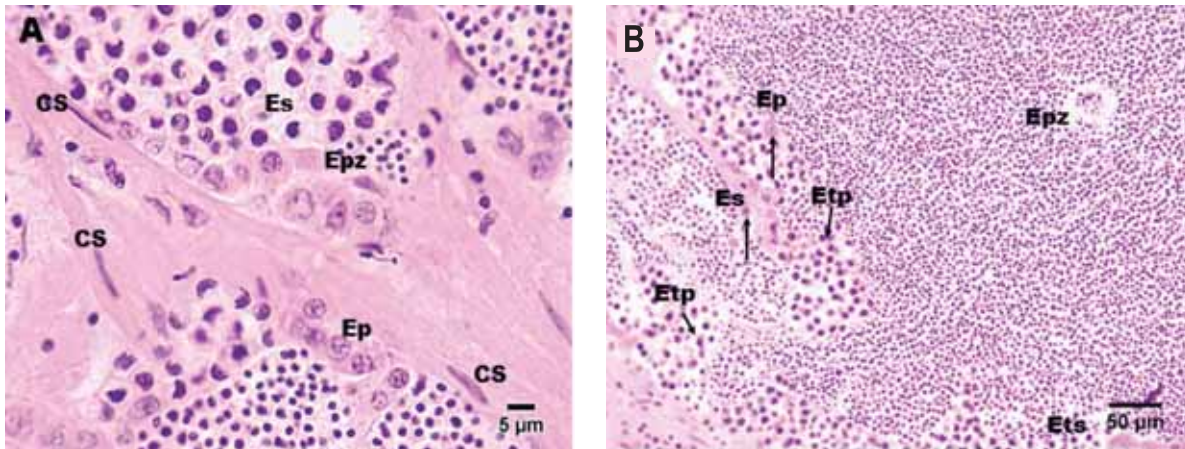


Figura 5: Vista histológica de estadios de desarrollo testicular en *Hypophthalmus edentatus*: A. Maduración (40x), B. Maduro (20x). Espermatogonias primarias (Ep), espermatogonias secundarias (Es), espermatocitos primarios (Etp), espermatocitos secundarios (Ets), espermatídes (Eds), espermatozoides (Epz), luz del túbulo seminífero (LTS). Fuente: Villamil-Rodríguez, 2018

Espermiogénesis

Continuando con la fase pos-meiótica es posible encontrar cistos en diferentes estadios de maduración dándose a lo largo del túbulo seminífero (Batlouni *et al.*, 2006; Prieto Mojica, 2007).

En la medida que se diferencian las espermátides se pierde contenido citoplasmático y el núcleo se compacta, se forma la pieza intermedia y el flagelo. Las conexiones y puentes con las células de Sertoli se hacen menores cada vez (Melo *et al.*, 2011). Los cistes espermáticos se abren y comienzan a liberarse los espermatozoides, estos pueden permanecer en la luz de los túbulos y después hacia la papila urogenital o ser llevados hacia estructuras que a manera de vesículas seminales almacenan los espermatozoides y pueden llegar a formar espermátóforos junto con secreciones producidas por las mismas células de Sertoli, como ocurre en peces de fertilización interna (Arantes *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2014) o inseminación interna, como es sugerido por Arantes *et al.* (2013) dado que no se sabe el tiempo que transcurre entre el depósito de espermatozoides en el oviducto y la fertilización.

Según Arantes *et al.* (2013) se pueden clasificar como espermatozoides acrosomales y anacrosomales, siendo estos los más comunes y las especies que los presentan tienen fertilización externa y a su vez pueden presentar uno o dos flagelos, cabeza pequeña con núcleo ovoide o esférico, sin acrosoma, la pieza intermedia pequeña y formar un collar en la región anterior del flagelo, las pocas y pequeñas mitocondrias situadas en el citoplasma del collar se separan del

flagelo por el canal citoplasmático (Arantes *et al.*, 2013; Prieto Mojica, 2007); la ausencia de acrosoma está compensada por el micrópilo u orificio propio del corion de los óvulos que facilitan la entrada del espermatozoide durante la fertilización.

Los lóbulos u túbulos seminíferos se presentan separados por tejido conjuntivo con gran cantidad de fibroblastos, vasos sanguíneos y células de Leydig, que juegan un papel importante en la liberación de esteroides para la regulación paracrina y autocrina de la espermatogénesis así como para el desarrollo de caracteres sexuales y comportamiento (Batlouni *et al.*, 2006).

Control Neuroendocrino de La Reproducción

La reproducción es un evento condicionado a diversos factores, enmarcado por las condiciones ambientales y fisiológicas del pez. Las condiciones externas son captadas por el pez y transformadas en señales nerviosas que activan la formación y liberación hormonal, desencadenando el proceso reproductivo (Miranda *et al.*, 2013). Tanto en machos como en hembras se pueden distinguir tres fases espermato/ovogénesis; espermiación/ovulación; emisión de esperma/ovoposición.

Componentes neuroendocrinos

La reproducción es una actividad que involucra diversos factores fisiológicos, controlados por órganos específicos. Los componentes más involucrados

en este proceso son: glándula pineal, hipotálamo, hipófisis, hígado y las gónadas.

Glándula pineal

Esta estructura es una evaginación del diencefalo ubicada en la superficie dorsal, se piensa que usa la información para sincronización del comportamiento diario y estacional de los eventos fisiológicos. Al parecer presenta actividad secretora de gran importancia en la actividad reproductiva. Su posición anatómica en el cráneo, bajo una depresión translúcida, la hace sensible a los cambios en la duración e intensidad del fotoperiodo. Su estructura sensorial está constituida por tres tipos celulares: células de sostén, células ganglionales y células fotoreceptivas. Estas últimas son similares a las células foto receptivas de la retina, por lo tanto son las directamente encargadas de recibir los estímulos lumínicos.

La glándula pineal secreta una hormona llamada **melatonina**, que en teleósteos es un potente inhibidor de la reproducción, induciendo la disminución en las expresiones de gonadotropinas. Esta secreción está regulada por los cambios de luz, siendo mayor para los periodos largos de luz y menor en los cortos. Los cambios estacionales en la longitud del día se reflejan en las modificaciones, también estacionales, del patrón de secreción de la melatonina, proporcionando una información precisa de los cambios fóticos a escala diaria y anual (Falcón *et al.*, 2010; Oliveira *et al.*, 2011; Maitra *et al.*, 2013).

Es importante recalcar que algunas especies tropicales, desovadoras durante periodos secos, no parecen afectadas reproductivamente por la secreción de melatonina, siendo estas épocas coincidentes con fotoperiodos largos. Se puede concluir que la glándula pineal actúa como reloj endocrino y fisiológico, que predispone al pez frente a las condiciones óptimas de reproducción.

Hipotálamo

Ubicado en la región ventral del diencefalo, este órgano está constituido por cuerpos neurales agrupados en núcleos y con función neurosecretora.

En el hipotálamo y en la región preóptica existen receptores para la melatonina; ambas son regiones diana para los esteroides sexuales y lugares con abundante presencia de inervaciones dopaminérgicas y factor liberador de gonadotropinas (GnRH), que es el principal sistema de inhibición y estimulación de la liberación de la gonadotropinas (GtH),

respectivamente, y que actúan sobre la adenohipófisis. Los núcleos directamente involucrados en el proceso reproductivo:

- Núcleo lateral Tuberis (NLT), encargado de la liberación de la hormona liberadora de gonadotropina, GnRH

- Núcleo preóptico (NPO), al parecer involucrado en la liberación de la hormona inhibidora de la liberación de gonadotropina, GnIH.

En cuanto a las hormonas liberadoras e inhibidoras de gonadotropinas existen las siguientes:

Hormonas liberadoras

Las células neurosecretoras responden a una señal procedente del cerebro, liberando un mensajero químico en el terminal del axón, llamado hormona liberadora de gonadotropinas. Esta a su vez actúa sobre las células gonadotropas de la adenohipófisis, estimulando la liberación de gonadotropinas (FSH y LH en mamíferos o GtH I y GtH II en peces).

Cuando la GnRH es liberada sobre la hipófisis ésta es detectada por la superficie de la membrana en los receptores de las células adenohipofisarias. Estos receptores tienen afinidad química y son hormonas específicas. Al llegar a la célula, hormona y receptor se acoplan y desencadenan una serie de eventos intracelulares que culminan con la síntesis de la hormona que produce la célula. El conocimiento de esta fase del mecanismo de acción de GnRH es importante para la práctica de la reproducción controlada, pues el uso de análogos de hormonas que actúan en la hipófisis ya hace parte de la rutina de reproducción inducida (Hoga *et al.*, 2018).

Hormonas inhibidoras

Entre los descubrimientos que vienen siendo realizados sobre el sistema de liberación de gonadotropinas (GtH), la existencia de otras sustancias inhibidoras ya está evidenciada, tal es el caso de la hormona inhibidora de gonadotropinas (GnIH). Su acción inhibidora de GtH ha sido evidenciada eficazmente en mamíferos y aves, sin embargo en peces aún es cuestión de debate (Peng *et al.*, 2016).

Uno de los agentes inhibidores de GtH más conocidos es la dopamina, una neurohormona de la familia de la adrenalina (catecolamina). Su función en los vertebrados, así como de otros agentes químicos, no está completamente clara, sin embargo investigaciones muestran que este péptido bloquea la liberación de

GtH en muchos teleósteos (Zohar y Mylonas, 2001; Yaron *et al.*, 2003; Dufour *et al.*, 2005). Por lo que el bloqueo de la dopamina por el uso de antagonistas del receptor de dopamina (domperidona u pimozide) aumentan la liberación de GtH cuando el pez es inyectado con GnRH (Breton *et al.*, 1998; Zohar y Mylonas, 2001).

Por otro lado, investigaciones recientes en carpa, sugieren el poder inhibitorio de la melatonina sobre las funciones gonadales, dependiendo del estado reproductivo del pez (Maitra *et al.*, 2013), sin embargo son necesarias más investigaciones al respecto.

Hipófisis

Ubicada ventral al hipotálamo, esta glándula es el puente de transición de la actividad neuroendocrina. La hipófisis es la glándula de síntesis, almacenaje y liberación de varias hormonas peptídicas, puede ser considerada como un transductor que, a través de sus secreciones, posibilita que el sistema nervioso central controle un rango muy amplio de funciones endocrinas, entre las que cabe mencionar por su importancia la reproducción, la osmoregulación, el crecimiento y alguna forma de control del metabolismo.

Su estructura anatómica está constituida por tres segmentos:

- Neurohipófisis
- Parte intermedia
- Adenohipófisis

Control endocrino

Todos los eventos fisiológicos ocurridos en el pez influyen su desarrollo reproductivo, sin embargo existen eventos hormonales que marcan este proceso.

Como se mencionó anteriormente el desarrollo y posterior proceso de reproducción está condicionado por factores externos e internos del pez (Fig. 6). Durante las etapas de crecimiento los niveles hormonales involucrados en la reproducción, mantienen una tasa constante de producción relativamente baja. Una vez llegada la madurez gonadal, la actividad hormonal es alterada por diferentes factores como temperatura, fotoperíodo, señales asociadas con las lluvias y demás factores que pueden cambiar el entorno del pez provocando que se disparen los mecanismos activadores del proceso reproductivo.

Estos estímulos son procesados por receptores sensoriales y transformados en señales neuronales que llegan a los núcleos hipotalámicos, produciéndose la liberación de GnRH. Este neuropéptido se dirige por los cuerpos neuronales hacia la hipófisis, siendo captado por las células gonadotropas (CSH), las cuales se estimulan para producir gonadotropina (GtH). Esta hormona glicoproteica es vertida al torrente sanguíneo, más exactamente a la vena hipofisiaria y conducida hasta las gónadas, en donde influenciará la producción de esteroides sexuales responsables de la maduración de los gametos y su posterior ovulación o espermiación (Breton *et al.*, 1998).

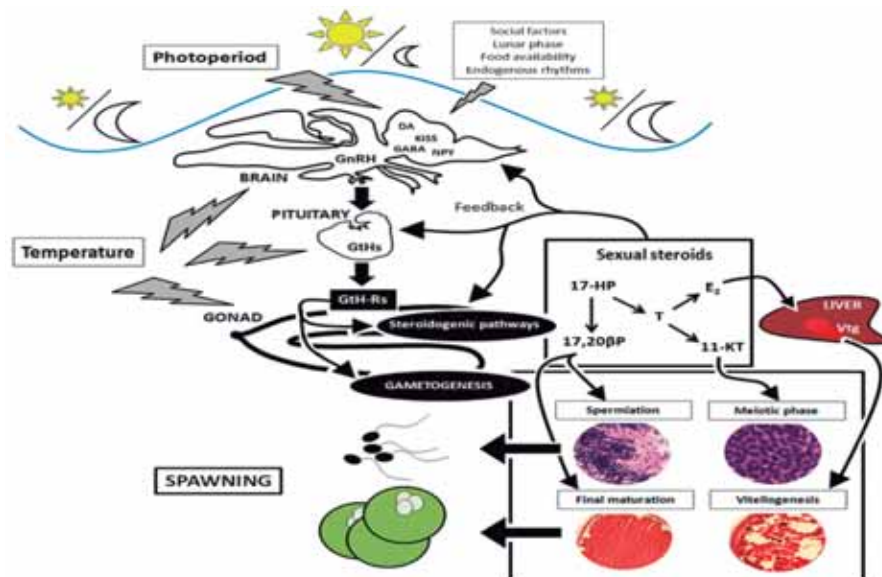


Figura 6: Influencia del ambiente en el control neuroendocrino de la reproducción, específicamente en el eje hipotalámico-pituitario-gonadal. Factores externos (fotoperíodo, fases lunares, disponibilidad de alimento, entre otros) desencadenan en el cerebro del pez una serie de eventos hormonales que regulan las funciones reproductivas.

Fuente: Miranda *et al.*, 2013

Control endocrino en hembras

La influencia hormonal en el desarrollo sexual de la hembra, viene dado a partir de la fase de crecimiento secundario o vitelogénesis. La presencia de las GtH hipofisiarias en la fase previtelogénica no parece tener efecto en esta etapa.

Según las investigaciones más recientes, los procesos de desarrollo sexual en un pez maduro están controlados por dos clases de gonadotropinas hipofisiarias denominadas GtH I y GtH II. La GtH I está involucrada principalmente en la vitelogénesis, al inducir la captura de vitelogenina y se ha observado que induce la síntesis folicular de estradiol. Mientras que la principal acción de la GtH II es la regulación de la maduración del oocito y la ovulación por lo que se conoce como hormona madurativa (Breton *et al.*, 1998; Planas *et al.*, 2000; Nagahama y Yamashita, 2008; Valdebenito *et al.*, 2011). Dadas las similitudes en las secuencias entre la GtH I (peces) y la FSH (mamífero); y la GtH II y la LH, se ha adoptado el uso de los términos FSH y LH para hacer referencia a las GtH I y GtH II, respectivamente (Planas *et al.*, 2000; Yaron *et al.*, 2003; Rocha *et al.*, 2008).

Las GtH liberadas al torrente sanguíneo, previa estimulación hipotalámica hipofisiaria son conducidas al ovario. En esta primera instancia los niveles de LH son mayores que los de FSH (Breton *et al.*, 1998). Estos niveles gonadotrópicos dan comienzo a los procesos vitelogénicos (exógeno y endógeno).

La LH y FSH estimulan la producción de andrógenos a partir del colesterol en las células tecales. Estos andrógenos, especialmente la testosterona pasa a las células granulosas en donde mediante una acción de la aromatasa son transformados en estrógenos (Rocha *et al.*, 2008).

Los estrógenos, principalmente 17β estradiol son dirigidos al torrente sanguíneo y posteriormente captados por los receptores hepáticos, estimulando la síntesis hepática de vitelogenina (Vg). Este complejo lipo-fosfo-proteico, específico en hembras es el principal precursor de las proteínas y lípidos del vitelo; una vez la Vg llega a las gónadas es captada por micropinocitosis al interior del ooplasma. En el momento de la captura de Vg los niveles de FSH aumentan y los de LH disminuyen.

Cuando se ha completado el proceso de vitelogénesis, el oocito comienza su maduración, caracterizada por la clarificación del vitelo y la migración de la vesícula germinal a la periferia. En esta etapa los niveles de 17β estradiol, caen debido a una pérdida de la aromatasa de

las células de la granulosa, ocasionado un aumento en los niveles de testosterona, los cuales serán utilizados para la síntesis de MIS (Esteroides inductores de maduración), principalmente la progestina 17α - 20β dihidroxiprogesterona (17α - 20β -P) (Rocha *et al.*, 2008).

Cuando la migración del núcleo ha finalizado, el óvulo es expulsado del folículo (ovulación), permaneciendo en la cavidad ovárica hasta el desove. Estos eventos finales están regulados por las GtH, mediante la acción de los MIS y las prostaglandinas, estas últimas estimulan la contracción y la ruptura folicular.

Control endocrino en machos

Los eventos reproductivos ocurridos en el testículo del pez son estimulados por la FSH y la LH mediante la producción de 11-Keto-testosterona (11-KT) y 17α - 20β dihidroxiprogesterona (17α - 20β -DP), respectivamente (Rocha *et al.*, 2008).

La 11-KT producida por las células de Leydig permite la liberación de las espermátidas al lumen testicular, lo que se conoce como ESPERMIOGENESIS. Este evento es mantenido en niveles bajos hasta justo antes del desove, una vez el desove se presenta induce la producción de fluido seminal por parte del ducto espermático y el proceso de espermiación se acelera, esta actividad es propiciada por la hormona 17α - 20β -DP producida por las células de Leydig y al parecer por los espermatozoides (cuando la hormona es producida por los espermatozoides, no está regulada por la LH) (Rocha *et al.*, 2008).

Otro evento que ocurre en el testículo del pez es la producción de esteroides sexuales, ESTEROIDOGÉNESIS, sintetizados en respuesta de la FSH y LH. Éstos son liberados en el torrente sanguíneo y ejercen efectos endocrinos como el desarrollo de características sexuales secundarias y la inducción del comportamiento sexual (Planas y Swanson, 1995). La espermiación y la adopción de características sexuales secundarias como la coloración, agresividad, cortejo, etc., parecen estar correlacionadas con los niveles elevados de 11-KT, asociados al comienzo de la actividad reproductiva.

De otro lado, hormonas como la prolactina parecen estar involucradas en los procesos de cuidado parental y construcción del nido.

Influencia Ambiental en La Reproducción

Los procesos de adaptabilidad de los animales implican un proceso evolutivo de varios millones de años, tiempo en el cual han logrado recopilar la suficiente información del exterior, que les permite una óptima correlación entre los cambios medioambientales y sus procesos fisiológicos.

Las periodicidades medio ambientales en los peces son expresadas por diversas actividades biológicas presentadas en determinados periodos del año que posibilitan el éxito de su adaptación. En el caso de la reproducción, en la zona tropical las temporadas de lluvias suelen ser el gatillo que dispara el inicio de los eventos reproductivos, ya que son en éstos periodos en los cuales las aguas y los alimentos se hallan en las mejores disposiciones para supervivencia de los alevinos. Por otro lado, el fotoperiodo juega un papel crucial y es considerado el determinante principal de la maduración de la mayoría de teleósteos cultivados (Carrillo, 2009).

Debido a las condiciones medioambientales privilegiadas con que contamos en nuestro país, los factores medioambientales determinantes de los procesos reproductivos no presentan gran influencia sobre este, aún menos si se trata de ejemplares mantenidos bajo condiciones de cautiverio y con una amplia oferta de alimentos.

Sin embargo, para otras latitudes existen factores que pueden influir en la reproducción como:

Factores últimos

Según Carrillo (2009) los factores últimos son aquellas variables ambientales que han ejercido una presión de selección para que la actividad reproductiva se lleve a cabo en un periodo determinado de tiempo. Estos factores suelen presentar gran variación de acuerdo con las especies y son:

- Temperaturas apropiadas
- Disponibilidad de alimento
- Competividad por alimento y espacio
- Grado de predación inter e intra especies

El más importante de los anteriores factores es la disponibilidad del alimento, ya que ésta condiciona de forma directa y en gran parte la supervivencia de las especies.

Factores próximos

Son aquellas señales ambientales que controlan los

ciclos anuales de las especies afectando sus procesos biológicos (reproducción). Un ejemplo característico es el fotoperiodo como ya se mencionó. Ésta es la señal ambiental más fiable para los ajustes diarios o estacionales de las funciones biológicas pues permanece constante a través de los años y refleja la estacionalidad (Carrillo, 2009).

Inducción a La Puesta

La creciente necesidad de obtener gran cantidad de fuentes proteicas, hace que se busque aumentar las poblaciones de animales de consumo, por medios artificiales. Como bien es sabido una ínfima parte de las especies, con posibilidades de explotación comercial son manejadas en la actualidad. Lo que hace necesario el conocimiento biológico de las especies para propagarlas de forma adecuada y eficiente bajo algún sistema.

Propagación natural

Este sistema consiste en ofrecer al pez ciertas condiciones medio ambientales para la reproducción propia de su especie. El manejo que se realiza en estos individuos trata de simular ciertos aspectos biológicos involucrados en su actividad reproductiva. Las estrategias utilizadas para esto, son:

- Proporcionar un sustrato artificial para el desove, como nidos, superficies, receptáculos, etc., que faciliten el desove del pez, simulando el medio natural.
- Simular condiciones naturales manejando corrientes de agua, relaciones macho - hembra, densidades adecuadas, fotoperíodos, sustratos naturales de postura, propiedades fisico-químicas del agua como temperatura, pH, salinidad, dureza, oxígeno disuelto y todas aquellas que tengan un papel preponderante en la biología reproductiva del pez.

Propagación artificial

Muchas especies manejadas comercialmente no se reproducen en cautiverio, lo que hace necesario el uso de sustancias que medien esta actividad. (Tabla 1). La utilización de los diferentes compuestos manejados en la inducción depende de factores, tales como:

Especificidad del inductor hormonal

Homoplásticos: hace referencia a compuestos hormonales aplicados a una especie determinada y que proceden de la misma.

Heteroplásticos: se refiere a la utilización de sustancias de una especie, aplicada a otras diferentes.

Dosificación

La cantidad de sustancia aplicada depende de factores, tales como:

- Origen del producto. Algunos compuestos tienen sitios específicos para actuar y sus niveles de dosificación varían. Las sustancias purificadas tienen niveles de dosificación más bajos que los extractos brutos.
- Especificidad. Los compuestos homoplásticos suelen tener una dosificación menor que los heteroplásticos.
- Estado fisiológico. Los peces que muestran estados avanzados de maduración gonadal requieren dosis menores que los que presentan fases tempranas de desarrollo.
- Peso del pez. La dosis es directamente proporcional al peso del pez.
- Sitio de acción. Las sustancias utilizadas presentan composiciones variadas, lo que exige un manejo individual de cada una de ellas.
- Lugar y forma de aplicación, los inductores tienen diferentes sitios y formas de aplicación dependiendo del sitio de acción, se puede aplicar ya sea intramuscular, intraperitoneal y oral.

Hora y época de aplicación

Los niveles hormonales del pez presentan cierta periodicidad en el transcurso del tiempo (horas, día y año), dependiendo de factores medioambientales como temperatura, humedad, fotoperiodo, etc., que pueden influenciar en gran medida la cantidad y clase de sustancia utilizada en la inducción.

Lugar de acción

Como ya se indicó, la reproducción en los peces (teleósteos) está controlada a través del eje hipotálamo-hipófisis- gónada. Este mecanismo secuencial permite la intervención en cada uno de los tres niveles, interfiriendo o promoviendo el proceso reproductivo en su conjunto mediante el empleo de distintas sustancias hormonales. Teniendo en cuenta el sitio de impacto de los compuestos utilizados en la inducción reproductiva, se puede realizar la siguiente clasificación, tomando como base el lugar donde

actúan.

- Hipotálamo

Antiestrogénicos: son compuestos que inhiben o modifican la acción de los estrógenos, quienes a su vez regulan a modo de retroalimentación negativa la secreción de gonadotropinas. Los antiestrógenos toman los sitios de ligado de los receptores estrogénicos en la hipófisis ocasionando un aumento en los niveles de GtH plasmática, los cuales provocarían ovulación, previa finalización de la vitelogénesis. Los más utilizados son el **citrato de clomifeno**, el **tamoxifen** y el **ciclofenil**.

Al usarlos hay que tener en cuenta que si se usan dosis muy bajas pueden provocar un efecto contrario, es decir inhibir la secreción de gonadotropinas en vez de estimularla. Igualmente deben administrarse cuando los ovocitos están finalizando su vitelogénesis, es decir, cuando los niveles de estrógenos son altos; puesto que en fases posteriores no tiene ningún efecto.

Antidopaminérgicos: tras la determinación de la catecolamina: dopamina, como factor inhibidor de la secreción de gonadotropina (GRIF), se han empleado diversos compuestos antagonistas de la dopamina para contrarrestar la acción del CRIF y por tanto potenciar la maduración y puesta de los peces. Entre los más empleados se encuentran el **pimozide** y la **domperidona**. Generalmente se emplean junto con la GnRH.

- Hipófisis

Las hormonas liberadoras de gonadotropinas (GnRH), inducen la secreción de gonadotropinas en la hipófisis. Las más empleadas hasta el momento han sido la GnRH de mamíferos (LH - RH) y sus análogos estructurales (LH-RHa).

Estos análogos estructurales provocan liberación de gonadotropinas a nivel hipofisiario y sus respuestas ovulatorias depende de la especie, dosificación, intervalo entre dosis, vía de administración, estado gonadal de la especie, época de puesta y la combinación que se haga con otras sustancias en el proceso de inducción, especialmente con GtH. Aunque su uso es prometedor, por ahora está restringido debido a su costo.

Las ventajas del uso de las hormonas hipotalámicas con respecto a las hipofisiarias, son que estas han cambiado poco en el transcurso de la evolución y son moléculas relativamente pequeñas pero muy activas (actúan a dosis muy bajas), pueden ser sintetizadas a

nivel comercial y no provocan efectos secundarios de tipo inmunitario.

- Gónada

El manejo que se realiza a este nivel es el más implementado en acuicultura, principalmente el método de hipofisación por ser práctico y económico. A este nivel se utilizan los siguientes compuestos: esteroides, antiestrogenos, prostaglandinas, extractos purificados de GtH, hCG, extractos hipofisarios.

Esteroides: tres son los grupos de esteroides que están involucrados en la ovogénesis y ovulación: las **progestinas**, los **corticosteroides** y los **estrógenos**. En la maduración de los oocitos, quien comienza todo el proceso en el ovario es un andrógeno, la testosterona.

Las progestinas son usadas para la maduración final del ovocito (migración y ruptura de la vesícula germinal). Para su acción requiere la presencia de al menos una mínima cantidad de GtH en el plasma.

Los corticosteroides (de origen renal o sintetizado en el tejido gonadal) inducen la maduración final del ovocito y la ovulación en la mayoría de los teleósteos cuando se administra en dosis altas o en combinación con GtH.

Estos compuestos actúan como mediadores de la acción de la GtH a nivel gonadal, la utilización en acuicultura de los esteroides ha sido muy poca

debido a los resultados contradictorios mostrados en experimentación. La 11 Ketotestosterona (11-KT) es un andrógeno utilizado para provocar espermiación en machos y los estrógenos 17 α - 20 β dihidroxiprogesterona (17 α 20 β -P) provocan la maduración folicular y la ruptura de la vesícula germinal en las hembras maduras.

El uso de esteroides debe realizarse en combinación con gonadotrofinas o extractos pituitarios, debido a que su actividad afecta determinadas etapas fisiológicas y no el proceso en general.

Prostaglandinas: este compuesto estimula la contracción y rotura folicular (Stacey y Goetz, 1982) y parece ser que favorece la conducta de puesta, este método no se utiliza en la práctica pero se pueden recomendar en hembras maduras próximas a la ovulación.

Gonadotrofinas: respecto a las gonadotropinas de peces empleadas, se pueden clasificar según su grado de pureza. Glándula de la hipófisis en fresco, extractos acuosos de la glándula, hipófisis secada en acetona o etanol, liofilizada y gonadotropinas parcialmente purificadas.

La gonadotropina más usada actualmente es la **hCG** en sus diversas denominaciones comerciales, seguida de los extractos de hipófisis ya sean comerciales (carpa y salmón) u obtenidos de hipófisis recolectadas en fresco de la misma o distinta especie tratada.

Inducción hormonal de la maduración y puesta

Tabla 1: Protocolos de inducción hormonal en bagres suramericanos

Especie	Tipo de hormona	Protocolo de inducción			Fecundidad total	Diámetro Pre ovocitario	Autor
		1ra dosis	2da dosis	3ra dosis			
Bagre rayado <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	EHC	♀ 0,25 mg/Kg	♀ 0,4 mg/Kg ♂ 4 mg/Kg	♀ 5,0 mg/Kg	243±101,3 g	939,2±83,4 µm	Mira <i>et al.</i> (2007)
Doncella <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Ovudal (D-alanina 6)	♀ 10,0 mg/Kg ♂ 1,0 mg/Kg	---	---	1204±6,92 g	---	Pérez <i>et al.</i> (2001)
	EHC	♀ 5,0 mg/Kg ♂ 1,0 mg/Kg	---	---	1204±1,41 g	---	
	Ovaprim®	♀ 0,05 ml/kg	♀ 0,45 ml/kg	---	---	---	Nuñez <i>et al.</i> (2008)
		♂ 0,25 ml/kg	---	---	---	---	
Yaque <i>Leiarius marmoratus</i>	EHC	♂ 0,2 mg/kg	♂ 0,5 mg/kg	♂ 2,0 mg/kg	---	---	Mira-López <i>et al.</i> (2010b)
	Ovaprim®	♂ 0,25 ml/kg	---	---	---	---	
Surubim <i>Steindachneridion parahybae</i>	EHC	♀ 0,5 mg/kg	♀ 5,0 mg/kg	---	73,55±7,00 g	---	Sanches <i>et al.</i> (2016)
Capaz <i>Pimelodus grosskopfii</i>	EHC	♀ 0,25 mg/Kg	♀ 0,5 mg/Kg	♀ 5 mg/Kg	1480±200 g	904±54,4 µm	Zapata-Berruecos <i>et al.</i> (2010)
		♂ 4,0 mg/Kg	---	---	---	---	
Nicuro <i>Pimelodus blochii</i>	Ovaprim®	♀ 0,5 ml/kg	---	---	2086,5±873,8 g	736,3±13,1µm	Ramírez <i>et al.</i> (2013)
		♂ 0,75 ml/kg	---	---	---	---	
Blanquillo <i>Sorubim cuspicaudus</i>	Ovaprim®	♀ 0,25 ml/kg ♀ 0,05 ml/kg	---	---	40370,6 g 82992,5 g	---	Muñoz y Atencio (2003)

Referencias

- Ajiaco-Martínez, R.E. y -Gil, H. (2002). “La pesca en la Orinoquia Colombiana: Pasado, presente y futuro.” En, editado por Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura INPA, 239-69. Ministerio de agricultura: Boletín científico.
- Arantes, F.P., Borçato, F.L., Sato, Y., Rizzo, E. y Bazzoli, N. (2013). ‘Reproduction and embryogenesis of the mandi-amarelo catfish, *Pimelodus maculatus* (Pisces, Pimelodidae), *Anatomia, histologia, embryologia*, 42: 30-39.
- Batlouni, S.R., Carreño, F.R., Romagosa, E. y Borella, M.I. (2005). ‘Cell junctions in the germinal epithelium may play an important role in spermatogenesis of the catfish *P. fasciatus* (Pisces, Siluriformes)’, *Journal of molecular histology*, 36: 97-110.
- Batlouni, S.R., Romagosa, E. y Borella, M.I. (2006). ‘The reproductive cycle of male catfish *Pseudoplatystoma fasciatum* (Teleostei, Pimelodidae) revealed by changes of the germinal epithelium: An approach addressed to aquaculture’, *Animal reproduction science*, 96: 116-32.
- Breton, B., Govoroun, M. y Mikolajczyk, T. (1998). ‘GTH I and GTH II Secretion Profiles during the Reproductive Cycle in Female Rainbow Trout: Relationship with Pituitary Responsiveness to GnRH-A Stimulation’, *General and Comparative Endocrinology*, 111: 38-50.
- Brown-Peterson, N.J., Wyanski, D.M., Saborido-Rey, F., Macewicz, B.J. y Lowerre-Barbieri S.K. (2011). ‘A standardized terminology for describing reproductive development in fishes’, *Marine and Coastal Fisheries*, 3: 52-70.
- Cal, R., Terrones, J., Vidal, S., Martínez, P. y Piferrer, F. (2010). ‘Differential incidence of gonadal apoptosis in triploid-induced male and female turbot (*Scophthalmus maximus*)’, *Aquaculture*, 307: 193-200.
- Carrillo, M. (2009). Reproducción en peces aspectos básicos y sus aplicaciones. (Fundación Observatorio Español de Acuicultura).
- Costa, F.G. (2000). ‘Morfológico, Ultraestructural e Imuno-Histoquímico’, Universidade de São Paulo.
- Cruz, N.E., Marciales, L.J., Díaz Olarte, J.J., Murillo Pacheco, R., Medina Robles, V.M. y Cruz Casallas, P.E. (2010). ‘Desempeño productivo del yaque (*Leiarius marmoratus* Gill, 1870) bajo diferentes densidades de siembra en estanques en tierra, *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 23: 325-35.
- da Silva Ribeiro, C. y Guimarães Moreira, R. (2012). ‘Fatores ambientais e reprodução dos peixes’, *Revista da Biologia*, 5508: 58-61.
- de Eyto, E.J., White, J., Boylan, P., Clarke, B., Cotter, D., Doherty, D., Gargan, P., Kennedy, R., McGinnity, P. y O’Maoileidigh, N. (2015). ‘The fecundity of wild Irish Atlantic salmon *Salmo salar* L. and its application for stock assessment purposes’, *Fisheries Research*, 164: 159-69.
- Devlin, R.H. y Nagahama, Y. (2002). ‘Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences’, *Aquaculture*, 208: 191-364.
- Dranow, D.B., Tucker, R.P. y Draper, B.W. (2013). ‘Germ cells are required to maintain a stable sexual phenotype in adult zebrafish’, *Developmental biology*, 376: 43-50.

Dufour, S., Weltzien, F.A., Sébert, M.E., Le Belle, N., Vidal, B., Vernier, P. y Pasqualini, C. (2005). 'Dopaminergic inhibition of reproduction in teleost fishes: ecophysiological and evolutionary implications', 1040: 9-21. *Annals of the New York Academy of Sciences* Pasqualini.

Falcón, J., Migaud, H., Muñoz-Cueto, J.A y Carrillo, M. (2010). 'Current knowledge on the melatonin system in teleost fish', *General and Comparative Endocrinology*, 165: 469-82.

FAO. (2018). 'El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible.'. <http://www.fao.org/3/I9540ES/i9540es.pdf>.

França, G.F., Grier, H.J. y Quagio-Grassiotto, I. (2010). 'A new vision of the origin and the oocyte development in the Ostariophysi applied to *Gymnotus sylvius* (Teleostei: Gymnotiformes)', *Neotropical Ichthyology*, 8: 787-804.

Freitas, J.A., Prado, P.S., Arantes, F.P., Santiago, K.B., Sato, Y., Bazzoli, N. y Rizzo, E. (2013). 'Reproductive biology of the characid dourado *Salminus franciscanus* from the São Francisco River, Brasil', *Animal reproduction science*, 139: 145-54.

Garnayak, S.K., Mohanty, J., Rao, T.V., Sahoo, S.K. Guiguen, Y., Fostier, A., Piferrer, F. y Chang C-F. (2010). 'Ovarian aromatase and estrogens: a pivotal role for gonadal sex differentiation and sex change in fish', *General and comparative endocrinology*, 165: 352-66 y Sahoo, P.K. (2013). 'Vitellogenin in Asian catfish, *Clarias batrachus*: Purification, partial characterization and quantification during the reproductive cycle by ELISA', *Aquaculture*, 392: 148-55.

Guiguen, Y., Fostier, A., Piferrer, F. y Chang, C. F. (2010). 'Ovarian aromatase and estrogens: a pivotal role for gonadal sex differentiation and sex change in fish', *General and comparative endocrinology*, 165: 352-66.

Hoga, C.A, Almeida, F.L. y Reyes, F. (2018). 'A review on the use of hormones in fish farming: Analytical methods to determine their residues', 16: 679-91. Jimenez, E.A,

Filho, M.A. y Frédou, F.L. (2013). 'Fish bycatch of the laulao catfish *Brachyplatystoma vaillantii* (Valenciennes, 1840) trawl fishery in the Amazon Estuary', *Brazilian Journal of Oceanography*, 61: 129-40.

Landines, M (2005). Mecanismos celulares de la reproducción de los peces. en: Reproducción de peces en el Trópico. Incoder - Universidad Nacional de Colombia. pp. 11-23.

Lo Nostro, F., Grier, H., Andreone, L. y Guerrero, G.A. (2003). 'Involvement of the gonadal germinal epithelium during sex reversal and seasonal testicular cycling in the protogynous swamp eel, *Synbranchus marmoratus* Bloch 1795 (Teleostei, Synbranchidae)', *Journal of Morphology*, 257: 107-26.

Loir, M., Cauty, C., Planquette, P. y Yves Le Bail, P. (1989). 'Comparative study of the male reproductive tract in seven families of South-American catfishes', *Aquatic Living Resources*, 2: 45-56.

Maitra, S.K., Chatteraj, A., Mukherjee, S. y Moniruzzaman, M. (2013). 'Melatonin: A potent candidate in the regulation of fish oocyte growth and maturation', *General and Comparative Endocrinology*, 181: 215-22.

Martins, Y.S, Arantes, F.P., Sato, Y., dos Santos, J.S., Rizzo, E. y Bazzoli, N. (2012). 'Comparative analysis of gonadal morphology in six fish species of the Incertae Sedis genera in Characidae of occurrence in the São Francisco River Basin, Brazil', *Acta Zoologica*, 93: 48-56.

- Meisner, A.D., Burns, J.R., Weitzman, S.H. y Malabarba, L.R. (2000). 'Morphology and histology of the male reproductive system in two species of internally inseminating South American catfishes, *Trachelyopterus lucenai* and *T. galeatus* (Teleostei: Auchenipteridae)', *Journal of Morphology*, 246: 131-41.
- Melo, R.M.C., Arantes, F.P., Sato, Y., dos Santos, J.E., Rizzo, E. y Bazzoli, N. (2011). 'Comparative morphology of the gonadal structure related to reproductive strategies in six species of neotropical catfishes (Teleostei: Siluriformes)', *Journal of Morphology*, 272: 525-35.
- Méndez-Marin, O., Hernández Franyutti, A.A., Álvarez-González, C.A., Contreras-Sánchez, W.M. y Uribe Aranzábal, M.C. (2012). 'Histología del ciclo reproductor de hembras del pejelagarto *Atractosteus tropicus* (Lepisosteiformes: Lepisosteidae) en Tabasco, México', *Rev. Biol. Trop.*, 60: 1857-71.
- Mira, T., Castro, S., Medina, V., Murillo, R., Otero, A., J., Zapata, B., Velasco, Y. y Cruz, P. (2007). Ensayos preliminares de reproducción inducida de bagre rayado *Pseudoplatystoma fasciatum* con extracto de hipófisis de carpa. En memorias de la XIII Jornada de Acuicultura Unillanos, Villavicencio, Meta. pp 65-67.
- Mira López, T.M., Medina-Robles, V.M y Cruz-Casallas, P.E. (2010a). 'Morfología Testicular del Yaque *Leiarius marmoratus* (Pisces: Siluridae) en Estadio de Madurez Reproductiva', *International Journal of Morphology*, 28: 421-26.
- Mira-López, TM, Medina-Robles VM, Cruz-Casallas, PE. (2010b). Evaluación de tres protocolos hormonales para la inducción de la espermiación en Yaque *Leiarius marmoratus*. Revista MVZ Córdoba. 15 (2): 2070-2077.
- Miranda, L.A., Chalde, T., Elisio, M. y Strüssmann, C.A. (2013). 'Effects of global warming on fish reproductive endocrine axis, with special emphasis in pejerrey *Odontesthes bonariensis*', *General and Comparative Endocrinology*, 192: 45-54.
- Muñoz, R. y Atencio, V. (2003). Evaluación de la reproducción inducida del blanquillo (*Sorubim cuspicaudus* Littmann, Burr & Nass, 2000) con Ovaprim®. MVZ-Córdoba 2003; 8(2): 333-334.
- Nagahama, Y. y Yamashita, M. (2008). 'Regulation of oocyte maturation in fish', *Development, Growth Differentiation*, 50: S195-S219.
- Núñez, J., Dugué, R., Corcuy Arana, N., Duponchelle, F., Renno, J. F., Raynaud, T., Hubert, N. y Legendre, M. (2008). Induced breeding and larval rearing of Surubí, *Pseudoplatystoma fasciatum* (Linnaeus, 1766), from the Bolivian Amazon. Aquaculture Research, 39: 764–776.
- Oliveira, C., Mañanós, E., Ramos, J. y Sánchez-Vázquez, F.J. (2011). 'Impact of photoperiod manipulation on day/night changes in melatonin, sex steroids and vitellogenin plasma levels and spawning rhythms in Senegal sole, *Solea senegalensis*', *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 159: 291-95.
- Peng, W., Cao, M., Chen, J., Li, Y., Wang, Y., Zhu, Z. y Hu, W. (2016) 'GnIH plays a negative role in regulating GtH expression in the common carp, *Cyprinus carpio* L', *General and Comparative Endocrinology*, 235: 18-28.
- Pérez, P.P., Bocanegra, F.A. y Orbe, R.I. (2001). Reproducción inducida de la doncella *Pseudoplatystoma fasciatum* y desarrollo embrionario-larval. Folia Amazónica, v. 1, n. 1-2, p. 141-154.

Planas, J.V, Athos, J., Goetz, F.W y Swanson, P. (2000). 'Regulation of ovarian steroidogenesis in vitro by follicle-stimulating hormone and luteinizing hormone during sexual maturation in salmonid fish', *Biology of Reproduction*, 62: 1262-69.

Planas, J.V. y Swanson, P. (1995). 'Maturation-associated changes in the response of the salmon testis to the steroidogenic actions of gonadotropins (GTH I and GTH II) in vitro', *Biology of Reproduction*, 52: 697-704.

Prieto Mojica, C.A. (2007). Morfologia testicular e estrutura da espermatogênese em peixes ornamentais Tetra Negro, *Gymnocorymbus ternetzi*; Tetra Amarelo, *Hyphessobrycon bifasciatus* e Mato Grosso, *Hyphessobrycon eques* (Teleostei, Characiformes). (Tesis de doctorado). Recuperado de: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/100197/prietomojica_cap_dr_jabo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ramírez-Gil, H., Ajiaco-Martinez, R.E y Barreto-Reyes, C. (2010). Estado actual de la pesca del bocachico *Prochilodus marie* en la Orinoquia Colombiana. Informe final proyecto de investigacion IIOC_Unillanos. Universidad de los Llanos.

Rivera, E., Arevalo, Y., Gómez, E. y Rodríguez Caicedo, D. (2010). 'Estudio preliminar de la relación del tamaño corporal y la maduración testicular de *Xiphophorus hellerii* (Heckel, 1948)', *Comité Evaluador de este número*: 226.

Rocha, M.J., Arukwe, A y Kapoor, B.G. (Eds). (2008). 'Fish reproduction'. USA. Science Publishers.

Rodríguez-Pulido, J.A., Cruz-Casallas, P.E. y Góngora-Orjuela, A. (2016). 'Hibridización de silúridos: una alternativa para la piscicultura con alto riesgo para la conservación de las especies nativas' *Orinoquia* 20: 62-68.

Rodríguez-Pulido, J.A. (2011). 'El cultivo de bagre Pimelonidos', *Comunicaciones del III Coloquio de la Red de Investigación Sobre la Ictiofauna Amazónica-RIIA*: 204.

Saborido-Rey, F. (2008). 'Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en las poblaciones de peces marinos'.

Sanches, E. A., Caneppele, D., Okawara, R. Y., Damasceno, D. Z., Bombardelli, R. A. y Romagosa, E. (2016). Inseminating dose and water volume applied to the artificial fertilization of *Steindachneridion paraguayae* (Steindachner, 1877) (Siluriformes: Pimelodidae): Brazilian endangered fish. *Neotropical Ichthyology*, 14(1), e140158.

Santos, M.L., Sales, N.G., Arantes, F.P., Pessali, T.C., Bazzoli, N. y Santos, J.E. (2014). 'Anatomical and Histological Organization of the Testes of the Inseminating Catfish *Trachelyopterus striatulus* (Steindachner, 1877)(Siluriformes: Auchenipteridae)', *Anatomia, histologia, embryologia*, 43: 310-16.

Stacey, N.E. y Goetz, F.W. (1982). 'Role of prostaglandins in fish reproduction', *Canadian Journal of Fisheries Aquatic Sciences*, 39: 92-98.

Sutthi, N., Amornlerdpisan, D., Chitmanat, C. y Mengumphan, K. (2014). 'Annual Growth and Reproductive Performance in an F2 Catfish Hybrid', *Journal of Advanced Agricultural Technologies Vol*, 1.

Taranger, G.L., Carrillo, M., Schulz, R.W., Fontaine, P., Zanuy, S., Felip, A., Weltzien, F.A., Dufour, S., Karlsen, Ø. y Norberg, B. (2010). 'Control of puberty in farmed fish', *General and comparative endocrinology*, 165: 483-515.

Valbuena-Villarreal, R.D., Zapata-Berruecos, B.E y Cruz-Casallas, P.E. (2010). 'Induced breeding of Capaz (*Pimelodus grosskopfii*) with carp pituitary extract: preliminary report', *Orinoquia*, 14: 133-39.

Valdebenito, I., Paiva, L. y Berland, P.M. (2011). 'Atresia folicular en peces teleósteos: una revisión', *Archivos de medicina veterinaria*, 43: 11-25.

Valentin, F.N. (2013). 'Processo de diferenciação gonadal em *Pseudoplatystoma fasciatum* e tentativa de feminilização com 17 β -estradiol'.

Vazzoler, E. (1996). *Biologia da reproducao de peixes teleosteos*.

Villamil-Moreno, L.P. y Arias-Castellanos, J.A. (2011). 'Fecundidad de *Otocinclus spectabilis*', *Orinoquia*, 15: 41-47.

Villamil-Rodríguez, J.F. (2018). 'Descripción de la morfología gonadal del Mapará *Hypophthalmus edentatus* (Siluriformes: Pimelodidae) en cuatro fases de un ciclo hidrológico en la Orinoquia Colombiana', (Tesis de maestría). Universidad de los Llanos, Colombia.

Wong, T.T. y Zohar, Y. (2015). 'Production of reproductively sterile fish: A mini-review of germ cell elimination technologies', *General and comparative endocrinology*.

Yaron, Z., Gur, G., Melamed, P., Rosenfeld, H., Elizur, A. y Levavi-Sivan, B.(2003). 'Regulation of fish gonadotropins', *International review of cytology* 225: 131-85.

Zapata-Berruecos, B. E., Cruz-Casallas, P. E., Valbuena-Villarreal, R. D. (2010). Reproducción inducida de Capaz (*Pimelodus grosskopfii*) con extracto de hipófisis de carpa: reporte preliminar. Orinoquia: ISSN 0121-3709.

Zohar, Y. y Mylonas, C.C. (2001). 'Endocrine manipulations of spawning in cultured fish: from hormones to genes', *Aquaculture*, 197: 99-136.

CAPÍTULO 6

MANEJO PRODUCTIVO DE LAS TILAPIAS

CARLOS ESPEJO GONZÁLEZ¹ Y MATEO ESPEJO VALENCIA²



Generalidades

Las tilapias pertenecen a una gran familia de peces conocida como Cichlidae, caracterizadas por tener el cuerpo oblongado, con aletas dorsales largas que tienen entre 23 a 31 espinas y rayos (Hepher y Pruginin, 1988).

Este es un pez considerado bíblico (St. Peter's fish) originario de África, muy apreciado en las Filipinas e Indonesia, en estos dos países es adoptado como pez nativo. En 1995 China fue el primer país productor de tilapia en el mundo, con 160.000 toneladas métricas por año, seguido de Filipinas con 63.000 toneladas métricas, en la actualidad se le conoce como uno de los más importantes peces en los países latinoamericanos (Watanabe *et al.*, 1997).

En el año 2018 estima la FAO que la producción de la acuicultura global fue de 106 millones de toneladas, de las cuales 76,6 millones de toneladas fueron representadas por animales acuáticos y 29,4 millones de toneladas de plantas acuáticas; de la misma manera se establece que la tasa de crecimiento promedio anual desde 1995 es del 6,6 %, se estima que esta proyección continúe y que la acuicultura jugará un rol importante en la seguridad alimentaria del mundo.

Se predice que la población mundial continúa creciendo y con la finalidad de mantener el nivel actual de consumo per cápita de alimentos acuáticos (25,61 kg en el 2018), la población requerirá un adicional de 23 millones de toneladas para el 2020. Este abastecimiento adicional tendrá que provenir desde la acuicultura. Para satisfacer la demanda futura

de alimentos, la acuicultura depende principalmente de la disponibilidad de piensos de calidad a precios asequibles.

A nivel de continentes, la acuicultura en África creció durante el 2001-2018 a un promedio de 10,4%, seguido por Asia (6%) y América (5,7%). En Oceanía y Europa la acuicultura creció sólo 2,9% y 2,5%, respectivamente, en los últimos 15 años.

En términos de volumen de producción, el subsector de la acuicultura de los animales acuáticos viene siendo dominado por la acuicultura de peces que se ha mantenido entre 63-68% durante las dos últimas décadas. El cultivo de moluscos que representaba el 30% en el año 2000, gradualmente ha declinado a 21% en el 2015. En contraste, el cultivo de camarón mejoró su participación de menos de 5%, antes del año 2000, a cerca de 10% en la última década.

Producción de Tilapias

Las tilapias son peces de aguas cálidas tropicales, el rango de temperatura más óptimo para obtener un mayor rendimiento en términos de crecimiento es de 25 a 30 °C, su crecimiento se ve afectado cuando esa temperatura desciende por debajo de los 15 °C, si la temperatura se acerca a los 9 °C, su muerte es inminente.

El cultivo de estos peces y su consumo ha ido creciendo aceleradamente en los países latinoamericanos, en el caso de los Estados Unidos su carne es bien apreciada en todas las presentaciones, pero especialmente en forma de filete.

¹Médico Veterinario Zootecnista, Especialista Acuicultura, M. Sc. cespejo85@hotmail.com

²Zootecnista, M. Sc. teoking@hotmail.com

En el gran mercado de los norteamericanos es el tercer producto de importación, después del camarón marino y el salmón del Atlántico, en las estadísticas de FEDEACUA para el año 2018, Colombia ha exportado 6.916.849 kilos de carne de tilapia que representan 48.951.457 dólares (Fedecua, 2018).

En países latinos como Costa Rica, la tilapia ocupa los primeros lugares en el renglón de las exportaciones, de igual forma en países centroamericanos como Honduras este cultivo se acrecienta cada día más y México ha dado el paso hacia la industrialización de estos ciclidos; es de aclarar que en esta región los esquemas de producción se llevan a cabo bajo el sistema intensivo.

En cuanto a la producción de tilapia en los países sudamericanos se destacan Colombia, Ecuador, Perú, Brasil y Venezuela, en cada uno de ellos el cultivo se hace con modelos de producción que van desde extensivo hasta intensivo, pasando por la modalidad de semiintensivo.

En Perú y Venezuela se sostiene una fuerte polémica con respecto al impacto ecológico que la especie pueda tener en el ecosistema acuático de esos países, se conoce que en la zona de Tumbes (Perú) existen proyectos que están produciendo la tilapia roja con miras a la exportación para el mercado de los Estados Unidos.

En el Ecuador la industria de la tilapia se mantiene como una segunda opción ante cualquier posible nueva crisis del camarón, en la zona selvática de Lago Agrio es una excelente alternativa de autoconsumo y para pequeños finqueros. En este país la producción de tilapia roja (*Oreochromis* spp.) se hace con densidades no superiores a 0,4 ó 0,5 peces por metro cuadrado, de esta forma se puede hablar de biomasa no mayores a 0,4 ó 0,5 kilos de carne de pescado por metro cuadrado, es decir, los cultivos son extensivos.

En el Brasil la industria de la tilapia se ha desarrollado en torno a la pesca deportiva o “pesca y pague” (Barbieri, 1998). Aunque desde el año 2016 las empresas AQUABEL Y GENOMAR del Brasil se han tornado como la despensa genética de Latinoamérica, allí se adelantan trabajos intensos para mejorar la calidad de las tilapias nilóticas con líneas comerciales como la chitralada, gift y supreme.

Se espera que con el auge de los cultivos en jaulas esta especie produzca un aumento en la oferta, lo que necesariamente puede hacer crecer la demanda por este pez.

Especies trabajadas industrialmente en Latinoamérica

Las especies que más se han trabajado desde el punto de vista de la producción de carne son:

La tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*)

La tilapia roja (*Oreochromis* spp.)

En el caso particular de Colombia, en el año de 1967 la Federación Nacional de Cafeteros introdujo la especie tilapia mossambica (*Oreochromis mossambicus*), pero este pez no fue muy apreciado por su conformación morfológica y especialmente por su coloración marcadamente oscura (Salazar, 2001). De otro lado en todos los países del cono sudamericano

o se encuentran ejemplares de tilapia rendalli (*Oreochromis rendalli*) y tilapia hornorum (*Oreochromis hornorum*), estas especies se han tenido con el fin de efectuar cruces que mejoren la resistencia a condiciones adversas en los animales utilizados en cultivos industriales.

Las producciones con tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) se iniciaron por los años 60 a partir de investigaciones llevadas a cabo en las zonas de ladera como solución a una falta de proteína de origen animal para las clases menos favorecidas, es decir, esta especie se cultivó como posibilidad de autoconsumo eminentemente, tan sólo en países como Costa Rica se le ha dado la importancia que este pez realmente posee, es allí donde persiste en la explotación industrial de la especie con densidades que exceden los 40 kilos / m³.

En Brasil, Colombia, Honduras, Costa Rica y en los últimos años en México se cultiva ampliamente variedades mejoradas genéticamente de la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*), estas son líneas conocidas como:

- a. Chitralada (Fig. 1)
- b. Gift
- c. Supreme



Figura 1. Ejemplares de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*)
Vr chitralada Fuente: Carlos Espejo

Estos grupos mejorados de animales dependen del grado de desarrollo genético que las casas les den, generalmente son los noruegos los más adelantados en el desarrollo genético de estas especies.

El verdadero auge de la producción de tilapia en estos países se genera a partir de los años 80 con el ingreso de la tilapia roja (*Oreochromis* sp.), con ella se inician las empresas que producen con criterios de exportación, con tecnologías de alta densidad y generando un valor agregado al producto primario, es así entonces como se inicia uno de los renglones más productivos en las economías primarias de los países latinoamericanos.

Aspectos reproductivos

A diferencia de otras muchas especies la reproducción de las tilapias es considerada como prolífica, esta condición ha hecho que se busque alternativas a esa alta reproducción, se pueden reproducir a edad temprana, desde los 3 a los 6 meses (Hepher y Pruginin, 1988).

Conteos de larvas realizados en la cavidad bucal de ejemplares de hembras de 200 gramos de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) han permitido establecer hasta 370 larvas eclosionadas, lo que indica que por cada gramo de hembra se pueden esperar 1,8 larvas, la viabilidad de estos pececillos es precaria si las condiciones medioambientales del estanque no les favorecen.

Para efectos de planificación de la empresa piscícola se estima que una hembra de 200 gramos puede producir aproximadamente 0,5 larvas viables por gramo de peso de la hembra Popma y Green (1990). (Tabla 1).

Tabla 1. Estimativos en la producción de larvas de tilapia por gramo de peso vivo de la hembra

FUENTE	PESO PROMEDIO (gramos)	LARVAS EN BOCA	LARVAS POR GRAMO
Experiencia de los autores	200	370	1,8
Popma y Green (1990)	200	Sin reporte	0,5

Tanto la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) como la tilapia roja (*Oreochromis* spp) son especies incubadoras bucales, es decir, que guardan los huevos fertilizados en sus cavidades bucales, esta característica hace que la sobrevivencia de las larvas al ingresar a la reversión sexual sea mayor, entre 85 y 90 %.

En cuanto al tamaño ideal de los reproductores se ha podido establecer que el mayor pico de producción se logra a partir de los 160 gramos y hasta los 300

gramos, de allí en adelante la motilidad espermática en el macho se ve fuertemente afectada, de igual forma se ha podido identificar a nivel de campo que en las hembras se presenta taponamiento del oviducto, lo que hace que no puedan llevar a cabo su función de oviposición.

En general los grupos de reproductores, que excedan los 300 gramos como peso promedio presentan inconvenientes de manejo y de fisiología reproductiva, se constituyen en peces más delicados para las faenas

de traslado, pesajes, muestreos y en términos generales para todas las tareas que se requieren cuando se lleva a cabo una producción intensiva de alevinos.

En toda estación piscícola que posea planta de producción de alevinos se debe contar con un plantel permanente de reposición de reproductores, ese grupo deber ser del 25 % del total de peces que estén trabajando en reproducción, es decir, si el plantel de reproductores es de 1000 peces entre machos y hembras, en el grupo de reposición deben haber por lo menos 250 reproductores en la talla de 150 a 200 gramos para reponer cualquier faltante del grupo principal de reproductores.

El grupo de reposición debe permanecer separado por sexos y cuando el pez haya llegado a la talla de reproducción sus alimentos balanceados no deben contener un nivel inferior al 32% de proteína cruda y

la cantidad de alimento se debe suministrar con base en el 2% de la biomasa sembrada en el estanque.

No se ha investigado mucho acerca de los requerimientos nutricionales de los reproductores de tilapias, la experiencia en el campo indica que la relación energía - proteína debe mantenerse entre 9 y 10, es decir, que un alimento que garantice 32 % de proteína debe igualmente contener entre 2800 y 3000 kcal por kilo de alimento balanceado, se sabe que estos alimentos así como en los animales superiores deben tener un contenido importante de selenio y zinc, con la relación energía - proteína se busca especialmente que el padrote no se engorde o no deposite excesivo tejido graso alrededor de sus órganos reproductivos, este requerimiento nutricional debe ir acompañado de la necesidad de no alimentarlos con más del 2 % sobre la biomasa (Tabla 2).

Tabla 2. Requerimientos minerales en juveniles de tilapias. (Tomado de Lim y Webster, 2006)

MINERAL	ESPECIE	REQUERIMIENTO KG/ DIETA	REFERENCIA
Calcio	Tilapia nilótica	7,5 g	O'Connell y Gatlin (1994)
Fósforo	Tilapia nilótica	0,8-1,0 g	Watanabe, Satoh <i>et al.</i> (1988)
Potasio	Tilapia nilótica Tilapia aureus	2-3 g	Shiau y Hsieh (2001)
Magnesio	Tilapia nilótica	0,59-0,77 g	Dabrowska <i>et al.</i> (1989)
Manganeso	Tilapia mosambicus	1,7 mg	Ishac y Dollar (1967)
Hierro	Tilapia nilótica por Tilapia aureus	150-160 mg	Shiau y Su (2003)
Zinc	Tilapia nilótica	30 mg	Elhamid Eid y Ghomin (1994)
Cobre	Tilapia nilótica	2-3 mg	Watanabe <i>et al.</i> (1988)

Manejo de reproductores, producción y selección

En el cultivo de las tilapias es apropiado hablar de animales comerciales y de animales de selección, esos animales comerciales son los que se cultivan en los estanques de producción y en últimas los que llegan al consumidor final, sobre estos peces es apropiado mantener un proceso de selección que permita identificar las mejores características de producción en términos de ganancia de peso y así mismo en términos de características externas como fenotipo, buscando un animal que deposite en su esqueleto óseo más carne en proporción de su tamaño.

El fenotipo inicia con la selección de animales que equilibren dos ejes, uno longitudinal y el otro desde la línea alba hasta el dorso o el inicio de las espinas dorsales; esos dos ejes deben equilibrarse 1:1. (Fig. 2).



Figura 2. Ejemplar de tilapia roja, ejes de selección horizontal y vertical Fuente: Carlos Espejo

Este criterio de selección asegura que los hijos de estos reproductores sean equilibrados en la producción de carne, buscando un único fin que es la producción de carne o en lo que en el mercado se conoce como filete.

Es óptimo que en toda estación piscícola se separen grupos de larvas durante la incubación antes de la reversión sexual y que esas larvas separadas sean sometidas a registros de crecimiento, conversión de alimento y sobrevivencia, esto siguiendo unos vectores de evolución trazados por la dirección técnica de la

empresa.

Los peces separados deben ser tratados como futuros reproductores y marcados con micro chips, es decir, en adelante todo el manejo de estos peces conlleva un cuidado especial, además de una alimentación que mantenga la relación energía-proteína no inferior a 9 y los niveles de proteína deben manejarse según la fase por donde se ubique el pez, lo sugerido se presenta en la tabla 3.

Tabla 3. Niveles de proteína sugeridos para la alimentación de reproductores de tilapia en levante

Peso promedio (gramos)	Nivel de proteína (%)
1 – 10	40
10 – 50	38
50 – 150	34
150 – 200	32

Estos peces seleccionados deben ir a estanques que garanticen la no mezcla con otras “líneas” o con peces de otros orígenes, además estos animales deben ser seleccionados por sexo tan pronto como sus papilas permitan la identificación.

El marcar los reproductores con micro-chips asegura que se pueda seguir a los mejores animales por registros como crecimiento, grosor de filete, tamaño

de la cabeza, tamaño del pedúnculo, entre otros.

Estos datos se llevan a un programa de Excel que garantice al profesional de la genética que la información es fidedigna y confiable, sólo así se establecerán los cruces a realizar en la granja que adelanta el mejoramiento.

La densidad sugerida para el manejo de estos futuros

reproductores es de dos (2) peces por metro cuadrado.

De otro lado con los animales de selección se debe llevar a cabo el mismo manejo en la alimentación y en las densidades de siembra pero sobre ellos se deberá hacer un manejo más estricto respecto a eliminar posibles fugas a otros estanques.

En lo que respecta a la tilapia roja (*Oreochromis* sp.), los animales considerados como de selección deben ser manejados como animales cruzantes, es decir, como peces que pueden mejorar ciertas características indeseables en los llamados peces comerciales.

Estos cruces de peces deben ser llevados a cabo en estanques pequeños, ojalá que estén revestidos en material duro (cemento o geo membrana) para tener la seguridad, de esta forma, que los alevinos allí encontrados son el producto de los cruces preestablecidos.

Una vez obtenida la reproducción se separan los alevinos de los padres para someterlos a crecimiento y conocer así si la condición indeseable fue corregida.

Producción Comercial de Alevinos y Reversión Sexual

La producción comercial de alevinos de tilapia se considera de relativa facilidad por la ya referida precocidad de los reproductores en lo referente a la madurez sexual y al número de alevinos obtenidos por hembra.

Aunque en la actualidad la sobrevivencia de las larvas, alevinos en reversión y de los animales en levante ha colocado a los técnicos a mejorar el manejo de todos los tópicos técnicos en las fincas piscícolas.

Hoy se establece a manera práctica que para obtener dos animales de 500 gramos de tilapia roja (*Oreochromis* sp) se requieren 6 alevinos terminando la fase de reversión sexual. Es decir, desde la reversión sexual en la tilapia roja (*Oreochromis* sp) hasta que el animal llega a talla comercial (500 gramos) la sobrevivencia es del 33%.

En reproducción, la relación de machos por hembra sembrados en los estanques es de 1 por 3 ó 1 por 2, es recomendable que la hembra no sea mayor que el macho, aunque se puede dar lo opuesto, pero es ideal que los reproductores sean del mismo peso. Se estima que la reproducción se puede permitir a partir de los 60 gramos, aunque esto podría traer insuficientes desarrollos óseos en los padrotes, los mejores resultados se obtienen con reproductores cuyo peso es

superior a los 120 gramos.

Obtención de Alevinos por Recolección en Las Orillas de Los Estanques

Una vez sembrados estos peces en los estanques de reproducción, que no deben exceder los 500 m², se pueden coleccionar las larvas al cabo de 10 días después de la siembra de los reproductores, dependiendo de la temperatura del agua, las larvas se recolectan en las orillas por cuanto los pececillos toman de allí gran cantidad de alimento como fitoplancton y zooplancton.

El número total de alevinos cosechados aumenta al incrementar la frecuencia de recolección, si se siembran 5000 reproductores/ha y se recolecta cada 7 días, la cosecha será de 104.100+/- 17.644 larvas, pero si la cosecha se lleva a cabo cada 25 días la recolección es de 49.000 +/-9.037 (Green *et al.*, 2000).

Las larvas deben ser pasadas por tamices de 10 mm para obtener especímenes de menor tamaño y esas larvas serán entonces las sometidas al tratamiento de reversión sexual, debido a que hasta ese tamaño están indiferenciados sexualmente. Hasta la talla de 10 mm se podrá aprovechar completamente el andrógeno.

El alimento con el andrógeno 17 α metil testosterona debe ser suministrado a los pececillos por lo menos durante 10 veces al día, sobre la base de 10 % de la biomasa, este tratamiento se debe llevar a cabo en estanques de tierra pequeños, no más de 400 m² o en japas o jaula de poca profundidad, no superior a 40 cm o en canaletas de 2 metros de largo por 40 cm de ancho.

Se tiene en claro que si la reversión se lleva a cabo en estanques en tierra los alevinos terminarán el tratamiento con cerca de 1 gramo como peso promedio, si se hace en los otros dos sistemas entonces la talla final será de 0,6 a 0,7 gramos; esa diferencia en la talla final se debe al alimento adicional que los peces reciben como productividad primaria en los estanque de tierra.

El tratamiento de reversión debe durar por lo menos 21 días y máximo 28 días, durante este proceso es frecuente la presentación de afecciones por el protozooario conocido como Trichodina que producen no sólo epizootias entre los peces de agua dulce sino que son los más frecuentes en los peces de aguas marinas (Roberts, 1981).

De manera práctica en la fase de reversión sexual la sobrevivencia se estima que es del 45 % promedio. Un factor de alta predación es el díptero anisóptero libélula,

cuyo orden es Odonata, su manejo práctico de campo es mediante la aplicación de un organofosforado en dosis de 0,5 a 2 ppm, este tratamiento debe ser manejado por un profesional experto.

Obtención de Alevinos Por Incubación

Este es el sistema más utilizado en las granjas tecnificadas en los países americanos (Ecuador, Colombia, Costa Rica, Honduras), consiste en aprovechar la característica incubación bucal de las hembras para simular mediante una incubadora, vasija cónica en fibra de vidrio, los movimientos de rotación que la hembra le imprime a los huevos en su boca (Fig. 3)



Figura 3. Ejemplar de tilapia nilotica vr. Chitralada.

Fuente: Carlos Espejo

Como es la artificialización de un hábito del animal se hace imprescindible que la calidad del agua sea total (alcalinidad apropiada, pH apropiado, entre otros), acorde con las necesidades de los huevos y de las larvas recién eclosionadas.

Los huevos son recogidos de las bocas de las hembras, previa organización 10 ó 14 días antes en grupos de 3 hembras por un macho.

Esos huevos obtenidos son clasificados por color, lo que indica el grado de desarrollo del embrión: amarillo, reciente fertilización y marrón, pronto a eclosionar.

El laboratorio de incubación artificial debe ser un espacio cerrado para evitar corrientes de aire que afecten la temperatura del agua y se debe implementar la metodología RAS, esto garantiza la calidad exacta del agua (Fig. 4).

En el laboratorio de incubación se hace indispensable conocer un tratado puro de bioquímica de aguas,

es decir, es crucial que el técnico conozca las implicaciones de diversas mediciones que se deben hacer, por ejemplo, es primordial la medición de la alcalinidad, que no debe bajar de 120 ppm de CaCO_3 , esto garantiza que las bacterias nitrobacter y nitrosomonas mantengan vivas, de manera tal que el ion amonio sea menos tóxico.



Figura 4. Incubadora en fibra de vidrio. Fuente: Carlos Espejo

Posibles Modelos en La Ceba de Las Tilapias

En los países americanos se están utilizando básicamente tres modelos de producción en la fase de ceba para estos cíclidos:

1. Producción en estanques de tierra
2. Producción en jaulas, en represas de generación eléctrica y en reservorios para riego.
3. En tanques de geomembrana

Dentro de la modalidad de cultivo de peces en estanques y en jaulas se puede dar el cultivo en ambientes eurialinos, es decir, en aguas salobres, esto especialmente se ha hecho en las costas de países como Venezuela, Ecuador, Brasil, Costa Rica, Honduras, Nicaragua, México y Colombia.

Producción en estanques en tierra

Esta producción se hace en cuerpos grandes o pequeños de agua, estanques especialmente diseñados de forma que lleven a cabo los recambios de agua del fondo

del mismo para movilizar de allí todos los metabolitos tóxicos que se encuentren o como degradación de la propia digestión de los animales.

A la fecha y con la llegada de agentes patógenos nuevos como el virus de la tilapia y la bacteria aeromona, además de otras patologías que han afectado al sector productivo, se ha venido implementando los modelos de RAS (recirculación de aguas, de buena calidad) que garantiza que a los estanques llegan aguas estabilizadas bioquímicamente y si esas aguas contienen bacterias benéficas como pro bióticos, el éxito de la explotación está asegurado.

Este sistema de recirculación debe tener 5 pasos imperiosos de cumplir, a saber:

- a. Filtros mecánicos de retención de sólidos o en su defecto enlentecedores (flujo lento) del agua.
- b. Biofiltros que garanticen la remoción de

elementos tóxicos como el amonio.

c. Sistemas de aireación que posibiliten oxígeno permanente por encima de 4 ppm.

d. En lo posible sistemas de sanitización (luz ultravioleta u ozono) para bajar las cargas bacterianas en el agua.

En el sistema RAS la premisa es recircular aguas de buena calidad, por eso se implementa la inclusión de probióticos en el alimento del animal o en su defecto en el agua de los estanques, en lo particular se prefiere hacer directamente en la comida, mezclándolo en la finca.

Los estanques están contruidos con taludes y fondos en tierra, los taludes se determinan por relaciones de 3 a 1, de esta forma se garantiza que cuando el macho realice el nido para la oviposición de la hembra las paredes del estanque no se deterioren (Fig. 5).

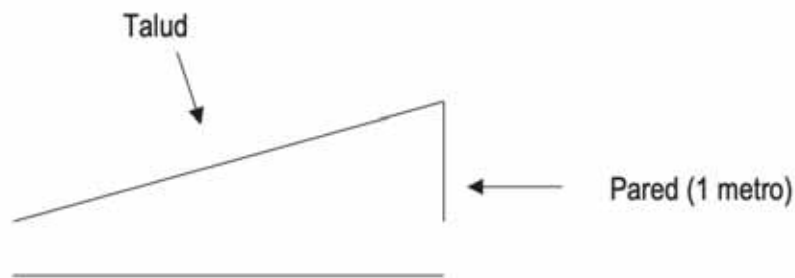


Figura 5. Diagrama (relación 3:1) de un talud en estanques en tierra

Nota: la profundidad del estanque está acorde con la temperatura del medio ambiente, deberá ser más profundo si la temperatura ambiental excede los 30 grados centígrados.

Esta condición en la construcción de los estanques pocas veces se cumple, lo que trae posteriores inversiones en reconstrucción de los mismos en detrimento de la rentabilidad del proyecto.

Los estanques reciben como factor de recambio permanente de agua entre 10 y 50 litros por minuto.

Las densidades manejadas en estos sistemas hoy no sobrepasan los 2 kilos por metro cuadrado.

Bajo el modelo de piscicultura semiintensiva la densidad de siembra es de 10 a 15 peces por metro cuadrado, el peso de siembra oscila entre 5 y 10 gramos, en algunos casos puede ser menor en la

medida en que la tasa de cosecha de peces finalizados sea muy acelerada.

En países como Ecuador, Perú y Colombia, los estanques tienden a ser de áreas superiores a 1000 ó 2000 metros cuadrados, en el Ecuador en particular las piscinas tienen dimensiones superiores a 5 hectáreas, con profundidades no mayores a 1 metro, de esta forma la productividad primaria se ve aumentada por la penetración de los rayos solares (ultravioleta).

Los datos de producción para este esquema se compilan en la tabla 4.

Tabla 4. Parámetros de producción de tilapia en estanques en tierra

Parámetro	Unidades
Densidad	7 peces / m ²
Peso promedio de siembra	6 gramos
Sobrevivencia	60 %
Duración del ciclo	210 días
Peso promedio de cosecha	357 gramos
Ganancia promedio / día	1,9 gramos
Conversión alimenticia	1,4 Cuidando el no desperdicio de comida
Producción Kg/ha/ciclo	14,9 toneladas

Nota: Estos datos se han ajustado a las realidades de hoy, el tema de enfermedades tiene al sector muy afectado

Producción en jaulas

Esta es la forma de cultivo superintensivo por cuanto se tienen reportes de Colombia, Brasil, y Panamá, según los cuales se está trabajando hasta 40 peces por metro cuadrado, esto quiere decir que si la talla final es de 300 gramos, entonces la biomasa cultivada por metro cúbico es de 12 kilos.

Las recomendaciones de orden técnico son que para esta tecnología se debe implementar el uso de jaulas pequeñas, cuyas medidas generales son de 1,5 de ancho, 1,5 de largo y 1 metro de alto, con estas

medidas se obtienen 2,25 m³.

El sistema de cultivo que impera hoy es el de jaulones grandes a los cuales se les siembran hasta 100.000 alevinos de 4-5 gramos.

En la práctica en Colombia y particularmente en la represa de Betania se usa por manejo del personal, jaulones de 8 lados donde se siembran hasta 100.000 peces de 4 a 10 gramos y se cosecha el 60 % de la población sembrada. Esta es la región en Colombia donde más afecta el virus de la tilapia, particularmente en la línea roja (Fig. 6).



Figura 6. Cultivo de tilapia roja en el embalse de Betania

Fuente: Carlos Espejo

Por recomendaciones técnicas de la A.S.A. (Asociación Americana de Soya), estas jaulas deben tener por lo menos 5 recambios de agua por minuto, esta condición hace que la colocación de las jaulas dentro de la represa o dentro del reservorio sea de mucha importancia, ya que sólo teniendo una excelente ubicación frente al oleaje del cuerpo de agua se podrá obtener el recambio exigido (Fig. 7).

Es necesario que entre jaulas exista por lo menos 3 metros de distancia, de esta forma se garantiza el mejor recambio dentro de la unidad de producción, de igual forma se sugiere que cada jaula tenga su propio alimentador, cuyo diseño corresponde a una caneca de 55 galones cortada exactamente a la mitad, este alimentador no permite la salida del concentrado extrudizado del interior de la jaula.

Cada unidad de producción de estas debe estar cubierta con una fina (1 mm) malla oscura que no permita índices elevados de estrés en los peces confinados.

Estos cultivos se adelantan en represas de generación eléctrica cuyas áreas inundadas superan las 3000 hectáreas o en reservas de agua para el riego agrícola, en cuyo caso se tienen experiencias prometedoras de poder cultivarse hasta 100 jaulas de las dimensiones descritas anteriormente en un cuerpo de agua de tan sólo 0,8 hectáreas.

Es condición indispensable que para esta alta

tecnología se mantenga un programa permanente de limpieza de fondos (en los reservorios) y de recambios de agua del fondo de los mismos, sólo así se podrán movilizar los metabolitos producidos por los propios peces.

En este modelo de producción se adquieren mejores ganancias diarias, del orden de hasta 4 gramos día, esto se debe fundamentalmente a que ante el confinamiento del pez el gasto energético y de proteínas se hace menor, lo que trae mejores rendimientos zootécnicos.

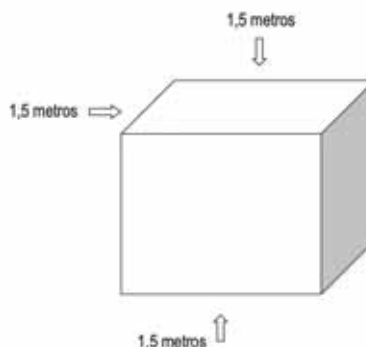


Figura 7. Modelo de jaula flotante para el cultivo de tilapia

Este modelo de piscicultura intensiva ha hecho que la industria genere rentabilidades cercanas a 25 % y gran rotación del capital invertido por cuanto se reducen los costos operativos y se acortan los tiempos de cultivo. Los datos de producción de este modelo se resumen en la tabla 5.

Tabla 5. Parámetros de producción de tilapia roja en jaulas, con animales revertidos, iniciando en 5 gramos

Tiempo de cultivo (días)	140
No. Inicial de peces por jaula	100.000
Supervivencia %	60
Peso inicial (g)	5
Peso final (g)	450
Ganancia de peso (g)	445
Ganancia gramos /día	3,18
Biomasa final Kg/m ³	13,5
Consumo alimento Kg	41.850
Conversión alimenticia	1,55

Producción de tilapias en estanques de geomembranas - Sistema BIOFLOC

Este tipo de cultivo se ha desarrollado en Colombia en los últimos 5 años, con no muy buenas rentabilidades, esto fundamentalmente por cuanto es una tecnología que se desconoce en el país y adicionalmente la

condición ictiopatólogica de las especies de peces cultivadas comercialmente no lo permite, hoy se tienen virus y bacterias que no existían hace 5 años.

Hoy se hacen algunos trabajos para hacer posible el cultivo de tilapias en biofloc, este es un sistema de reciclaje de nutrientes que busca partir del nitrógeno

y del fósforo que se excreta en las heces de los peces, para desde allí generar de nuevo comida, es un gran esquema de nutrición, pero demanda de técnicos que conozcan estrictamente los cambios y los desafíos de la calidad del agua.

Se debe trabajar con comunidades de bacterias que demandan volúmenes altos de oxígeno, lo que hace que el sistema dependa de una alta oferta de energía, que hoy en Colombia hace inviable financieramente el modelo.

Si a lo anterior se suma el estado ictiopatólogico, ya citado de las tilapias en el país, coloca en dificultades a la producción de tilapia en sistema de biofloc, no obstante en otros países donde los costos de la energía los asume el Estado el modelo funciona óptimamente.

Producción de tilapia en aguas salobres o ambientes eurialinos

En esta discusión es necesario recordar que el origen de estos cíclidos es africano y se caracterizan por su tolerancia genética a la salinidad (Watanabe *et al.*, 1997)

Son innumerables los trabajos que se han llevado a cabo con las tilapias en ambientes marinos, todos ellos

con éxito en la fase de levante, crecimiento y ceba, no así en la fase de reproducción, la mejor producción de alevinos se obtiene cuando las salinidades no exceden los 18 ppt (partes por millon), con estas salinidades se han obtenido hasta 666 +/- 184 huevos por desove en 20 desoves observados, si la salinidad aumenta a 36 ppt el número de huevos por desove se reduce a 336 +/-79, esto para 14 observaciones realizadas (Watanabe *et al.*, 1989).

En Colombia se han llevado a cabo trabajos con tilapia roja (*Oreochromis spp.*) en jaulas ubicándolas en lagunas costeras y en estuarios positivos donde la productividad primaria es excelente, el principio tecnológico para la construcción de las jaulas es el mismo utilizado para los cultivos en agua dulce, la salinidad en estos casos es de 28 ppt.

En Venezuela los trabajos han demostrado que con los híbridos de la tilapia roja (*Oreochromis spp.*) se pueden obtener magníficos resultados zootécnicos, estos peces fueron cultivados en aguas de mar cuya salinidad era de 30 ppt, luego de una gradual adaptación a la salinidad, incrementándola durante tres días hasta llegar a la final ya indicada, se sembraron peces de 62,27 y 81 gramos en jaulas de 3 m³ a densidades de 100 individuos/m³, los datos se observan en la tabla 6

Tabla 6. Crecimiento de híbridos de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) revertidos y cultivados en jaulas y en agua de mar

Proteína %	Peso inicial (g)	Peso a 15 días	Peso a 30 días
26	81	89,27	137,47
28	62,27	83,79	140,77

Algunos autores reportan la alta sobrevivencia presentada en ensayos de campo, un 95 % apoya la experiencia mediante la cual se conoce que cuando se adelantan cultivos en ambientes marinos las ictiopatologías se ven severamente reducidas, esto al parecer se debe fundamentalmente a la acción preventiva que produce el cloruro de sodio en el organismo del pez al mantener intacto el mucus de la piel en los peces, ese mucus es rico en inmunoglobulinas.

Trabajos recientes desarrollados en Kuwait, cultivando tilapia en estanques en tierra con aguas

marinas permite inferir que para estos países que cuentan con costas sobre los océanos esta debe ser una interesante alternativa de cultivo de peces. En este país se han obtenido ganancias diarias de 1,19 gramos iniciando con peces de 142 gramos y llevándolos a tallas comerciales de 290,1 gramos en 124 días, a densidades finales de 35,2 kg / m³. En jaulas se han sembrado peces cuyo peso inicial es de 118 gramos para terminar en 323,3 gramos en 101 días de cultivo y obteniendo ganancias diarias de 2,03 gramos, con densidades finales de 44 kilos/m³; estos trabajos se reportan en salinidades de 38-40 ppt. (Al-Ahmed, 2001).

Referencias

- Al-Ahmed, A. A. (2001). Tilapia Culture in Seawater and Brackish Groundwater in Kuwait. Aquaculture 2001. Word Aquaculture Society. Abstracts.
- Barbieri, R. 1988. La situación de la Acuicultura Brasileira. Feria Internacional de Acuicultura.
- Berman, Y. 1997. Producción Intensiva de Tilapia en agua Fluyente. IV Simposio Centroamericano de Acuicultura. Tegucigalpa, Honduras 22-24 de abril 1997. pp. 59-63.
- Costa-Pierce, B. A. y Doyle, R.W. 1997. Genetic identification and status of tilapia regional strains in southern California. (1): 1-17. En: Costa-Pierce, B. A. y J.E. Rakocy (Ed). Tilapia aquaculture in the Americas. Word Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States.
- Costa-Pierce, B. A. y Rakocy, J. E. (1977). Tilapia Aquaculture in the Americas. Baton Rouge, Louisiana, United States. Pp 57.
- Espejo, G. C., Buitrago, A. J., Kogson, Q. F., Alvis, F. G., Lince, L. 1999. Evaluación de torta de soya, soya integral y harina de yuca en la alimentación de tilapia roja en jaulas. II Congreso Sur-Americano de Acuicultura. Puerto La Cruz, Venezuela. Pp. 198-205.
- Fedeacua, 2018. Federación Colombiana de Acuicultores. www.fedeacua.org.
- Green, W. B., Teichert-Coddington, R. D. y Hanson R., T. (2000). Desarrollo de tecnologías de acuicultura semi-intensiva en Honduras. Centro Internacional para la Acuicultura y Medio Ambientes Acuáticos. Series para la investigación y desarrollo número 45. Universidad de Auburn, Alabama 36849-5419 USA.
- Hepher B. y Pruginin, Y. 1988. Cultivo de peces comerciales. Editorial Limusa . pag. 94-106.
- Jory, D. E., Alceste, C. y Cabrera, R. T. 1999. Mercado y comercialización de tilapia en los Estados Unidos de Norteamérica. II congreso Sur-americano de Acuicultura. Puerto La Cruz, Venezuela pag. 121.
- Lim, C. y Webster, C.D. (2006). Tilapia Biology, Culture, and nutrition. Food Products Press. DOI: 10.1300/5513_d.
- Piraquive, R. A. y Velez, R. J. M. 2000. Comparación de Parámetros de Producción, Costos y Análisis de Calidad de Agua Utilizando Dos Alimentos Balanceados en el Cultivo de Peces (Tilapia Roja) en Jaulas. Santa Fe de Bogotá 2000. Tesis de grado Universidad de la Salle, Facultad de Zootecnia.
- Popma, J. T. y Green, W. B. (1990). Manual de producción acuícola, Reversión sexual en Lagunas de tierra. Auburn University, Alabama.
- Roberts, R. (1981). Patología de los Peces. Ediciones Mundi-Prensa, pág. 182.
- Salazar A., G. (2001). Consideraciones generales sobre la acuicultura. En: H. Rodríguez G., P. Victoria-Daza y M. Carrillo A. (Ed.). Fundamentos de Acuicultura Continental. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. Colombia. Págs 1 -19. Bogotá, Colombia.

Watanabe, W. O., Burnett, K.M., Olla, B.L. y Wicklund, R.I. (1989). The effects of salinity on reproductive performance in Florida red tilapia. *Journal of the World Aquaculture Society* (20): 223-229.

Watanabe, W. O., Olla, B. L., Wicklund, R. I. y Head, W. D.. (1997). Saltwater culture of the Florida red tilapia and other saline-tolerant tilapias: a review. Pp: 54-141 En: B.A. Costa-Pierce y J.E. Rakocy. (Ed.). *Tilapia aquaculture in the Americas*, Vol. 1. World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States.

CAPÍTULO 7

CULTIVO DE TILAPIA EN JAULAS FLOTANTES

EDGAR FABRICIO REDONDO MARTÍNEZ¹



Introducción

La piscicultura es el sector de producción de alimentos que en los últimos años ha mostrado los niveles de crecimientos más acelerados mundialmente, constituyéndose en la única solución para cubrir la marcada disminución de la oferta natural de proteína de origen acuático. Además es considerado un motor de crecimiento económico por su contribución en los esfuerzos de reducción de la pobreza mediante la creación de oportunidades de empleo y la generación de ingresos directos e indirectos en el sector en que se desarrolla.

Colombia no ha sido ajena a este comportamiento, la actividad piscícola ha venido creciendo de manera destacada gracias a los esfuerzos del sector privado. Los empresarios han encontrado un potencial de inversión en esta actividad pecuaria, lo que ha propiciado su desarrollo a escala industrial, tanto en tierra como en diversos lagos y embalses del país, donde se destaca entre los sistemas intensivos el uso de jaulas flotantes por su eficiencia en la producción.

“Tanto el cultivo en jaulas como el cultivo en corrales son tipos de producción en recintos e incluyen el mantenimiento de organismos en cautividad dentro de un espacio cerrado, pero con flujo libre de agua. Ambos métodos, sin embargo, difieren entre sí. La jaula está cerrada por todos lados, (salvo, en ocasiones, por la parte superior) con paños de red o rejillas de otros materiales, mientras en los corrales es el fondo mismo del lago o del mar el que delimita la parte inferior” (Beveridge, 1986).

El origen del sistema de producción en jaulas en el ámbito comercial tuvo lugar en Noruega en la década del 70 con el surgimiento y desarrollo de la cría del salmón. Los sistemas de cultivo en jaulas son responsables de menos del 10 por ciento de la producción total de tilapia en la región de América Latina y el Caribe (Halwart *et al.*, 2008).

Este capítulo describe de las características principales del sistema de producción en jaulas flotantes de las variedades de tilapia roja (*Oreochromis spp*) y tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*).

Actualidad y relevancia del cultivo de tilapia en jaulas flotantes en Colombia

Son marcadas las diferencias existentes en cuanto a la capacidad de producción entre los cultivos convencionales en tierra y los realizados actualmente en jaulas flotantes en el país. Los cultivos en jaulas flotantes se caracterizan por sus altos volúmenes de producción en encierros relativamente pequeños sobre cuerpos de aguas de tamaño variables. En cuanto al costo de inversión es menor que el requerido para la producción en estanques, pues no es necesario invertir en adquisición de tierras ni en bombeo de agua y si las densidades de siembra lo permiten, no se requiere de aireación artificial para sostener este tipo de cultivos sin dejar de obtener altos volúmenes por unidad de área.

La Encuesta Nacional Piscícola del 2013 (MADR, 2013). muestra que el área en espejo de agua ocupada por las jaulas para el segundo semestre de 2013 fue de aproximadamente 400.000 m², mientras que el área de

¹Zootecnista, director de proyectos piscícolas en tierra y Embalse de Betania, Huila. piscicolaeltrebol@gmail.com

los estanques en uso para el mismo periodo alcanzó los 30.600.000 m². Al comparar estos resultados con los obtenidos en el 2010 se evidencia un crecimiento para los dos tipos de sistemas productivos; en el área dispuesta para la piscicultura en este periodo fue de 373.080 m² y de 20.312.326 m² en tierra.

No obstante, y a pesar de representar una superficie mucho menor a la de los estanques, la piscicultura en jaulas evidencia un mayor dinamismo y eficiencia productiva. En la tabla 1 se pueden observar los totales de producción por infraestructura y por especie para el segundo semestre del 2010 en el marco nacional.

Tabla 1. Producción piscícola en toneladas por especie según departamento y tipo de infraestructura durante el periodo julio – diciembre de 2010.

Infraestructura	Departamento	Tilapia roja	Tilapia plateada	Cachama	Trucha	Otra	Total
Toneladas (t)							
Estanques	Antioquia	1.457		395	343	33	2.228
	Boyacá	274	26	29	140	16	487
	Casanare	641		166		4	811
	Córdoba	75		408		8	492
	Cundinamarca	187	7	85	105	4	387
	Huila	2.945	64	584	58	426	4.078
	Meta	4.557		876		4	5.437
	Santander	473	79	668		14	1.234
	Tolima	1.040	77	279	5	51	1.452
	Valle del Cauca	781	11	472		130	1.395
Total (t)		12.430	265	3.963	652	688	18.001
Infraestructura	Departamento	Tilapia roja	Tilapia plateada	Cachama	Trucha	Otra	Total
Jaulas o jaulones	Antioquia	9					9
	Boyacá				155		155
	Córdoba			2			2
	Huila	8.602	4.872				13.474
	Meta			1			1
	Santander	1					1
	Tolima	224	4	7			235
	Total (t)	8.837	4.876	10	155	0	13.877
Total		21.267	5.141	3.973	807	688	31.878

Fuente: Encuesta Nacional Piscícola 2010. MADR (2010)

A pesar de que en la actualidad se reportan resultados de producción por unidad de área cercanos a los 3,5 kg/m² en estanques, sigue siendo notoria la diferencia en la producción entre estos dos sistemas productivos y denota el potencial que existe en el sistema de producción en jaulas flotantes.

producción de tilapia, cachama y trucha. En la Tabla 2 se observa que en el año 2017 la tilapia representó el 61% de la producción nacional seguida por la cachama con el 19%, la trucha con el 17% y otras especies con el 3%.

De acuerdo con el Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas (SÍOC), la piscicultura en Colombia está representada por la

Tabla 2. Producción piscícola por especie (Toneladas)

Producción por especie	2014	2015	2016	2017	2018
Tilapia	60.798	63.157	66.946	73.641	77.933
Cachama	24.611	20.777	22.024	22.455	23.038
Trucha	10.409	15.828	16.788	20.226	22.332
Otras especies	1.459	3.351	3.552	3.907	4.142
TOTAL	97.227	103.114	109.300	120.230	129.410

Para el 2017, sólo 6 departamentos representaban el 74% de la producción nacional de piscicultura, siendo el Huila el responsable del 46% de esta producción, seguido por Meta con el 13%, Antioquia, Tolima y Cundinamarca – Boyacá, cada uno con el 5% (MADR, 2018). Actualmente en el embalse de Betania en el departamento del Huila se cuenta con 75 permisos de producción en sistemas de jaulas flotantes para el cultivo de tilapia nilótica y roja con una capacidad de 22.000 toneladas anuales, lo que representaría un 30% de la producción total de tilapia para el 2017 en el país, esto sin contar con los aportes de los cultivos en jaulas flotantes del embalse del Guájaro en el departamento del Atlántico y embalse del Prado en el Tolima.

Ante el enorme potencial de producción que conlleva el cultivo de peces en jaulas flotantes se han enfocado esfuerzos gubernamentales, empresariales y de asociaciones para potenciar la viabilidad de los embalses en el país. Esto con miras a asegurar el crecimiento de la producción piscícola nacional de manera competitiva, generando empleos, aumentando las exportaciones y generando divisas dentro de un enfoque de desarrollo sostenible y de total respeto

por el medio ambiente. Esta iniciativa de carácter legislativo es conocida como la Ley de Embalses, en la que se promueve y regula el aprovechamiento integral y sostenible de la pesca y la acuicultura en los cuerpos de agua lenticos artificiales continentales del país.

Generalidades del sistema productivo

Los manejos técnicos para la producción de las variedades de tilapia roja (*Oreochromis spp*) y tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) en jaulas flotantes son muy parecidos, diferenciándose en los volúmenes de producción por unidad de área, los tiempos y tallas de cosecha, la resistencia a enfermedades y el destino del producto en el mercado final, el cual puede ser nacional o para exportación.

Los datos contenidos en la Tabla 3 representan una línea base de referencia que permite la comparación productiva entre especies, sin embargo, las estimaciones pueden variar territorialmente de un proyecto a otro o entre embalses.

Tabla 3. Comparación productiva entre las especies tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) y tilapia roja (*Oreochromis spp*) en un sistema de jaulas flotantes.

Parámetro a comparar	Tilapia nilótica (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Tilapia roja (<i>Oreochromis spp</i>)
Densidad de siembra	Generalmente se utilizan las mismas densidades y estas dependen de la calidad de agua y recambio con que cuenta el cuerpo de agua en que se encuentra instalado el sistema productivo, pudiendo ser cercanos a los 250 animales/m ² .	
Tiempo de cosecha	Nacional / Exportación 4 - 5 meses / 8 - 9 meses	5 - 6 meses
Tallas comerciales	550g / 1200g	450g
Producción por m ²	150 Kg/m ²	50 Kg/m ²
Tolerancia a enfermedades	Alta > al 80%	Inferior variable
Destino Mercado	Exportación > Nacional	Nacional > Exportación
Presentación Comercial	Filete - Entero	Entero - Filete

Fuente: Elaboración propia, 2018

Estructura

Tipos de jaulas

Las jaulas flotantes son estructuras donde se fija una malla sintética de red o alambre que se utiliza para confinar a los peces. Son diversos los materiales utilizados para la construcción de estas estructuras, así como las dimensiones utilizadas por los piscicultores. Pueden ser en forma de circunferencia o de polígonos regulares y el número de lados dependerá del tamaño que se requiera (Figs. 1 y 2), siendo los más básicos de 4 lados con áreas de 1 a 400 m² aproximadamente, llegando a superar los 18 lados y alcanzar más de 900 m². Para la construcción del marco pueden ser utilizados materiales encontrados en la zona de forma natural como maderas, guaduas o ser más tecnificados con la implementación de estructuras metálicas, tubería PVC o manguera de poliducto negro que aseguran mayor durabilidad y resistencia de las jaulas ante las adversidades medioambientales.

En cuanto a los sistemas de flotación pueden

utilizarse canecas plásticas vacías impermeabilizadas o estructuras en poliestireno expandido o icopor, forradas con mallas o telas que impiden su deterioro por fricción con el cuerpo de agua o materiales que sean arrastrados por las corrientes. Se recomienda evitar el uso de este último debido a la contaminación que puede causar al cuerpo de agua.

A fin de evitar el desplazamiento o arrastre por efecto de las corrientes, las jaulas deben ser ancladas al fondo por medio de pesos llamados “muertos” que consisten en bloques o canecas de 55 galones, los cuales han sido rellanados con cemento y piedras. Estas estructuras son amarradas a lazos de 16 mm que serán los que harán la unión entre el jaulón y la pesa. Acordada la ubicación de las jaulas, los pesos o muertos son lanzados en el área determinada. Se debe contar con suficiente lazo que asegure que la pesa llegue al fondo sin perder la línea que la unirá con el jaulón. Una vez ancladas al fondo y al ser amarradas a los jaulones permitirán la ubicación semifija de estas unidades.

La red utilizada para la jaula que contendrá los animales dentro del cuerpo de agua puede ser fabricada con materiales sintéticos de diferentes ojos de luz de malla de acuerdo con el tamaño del animal que será



Figura 1. Jaulas rectangulares con sistema de flotación en tubería de PVC en la represa del Guájaro. Fuente: Torres Quintero, 2010.

El cultivo de peces en jaulas por lo general se instala en amplios ambientes donde los parámetros de la calidad del agua no se pueden controlar. Por lo tanto, la selección de ambientes adecuados para el desarrollo de un proyecto de cultivo en jaulas es decisiva para el éxito y es fundamental realizar una exhaustiva evaluación de estos sitios antes de la instalación de las jaulas, pues no todos los cuerpos de agua son apropiados para establecer un cultivo piscícola en jaulas flotantes.

La elección de los mismos debe realizarse teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Uso legal
- Comportamiento y calidad de sus aguas
- Impacto ambiental o influencia del cultivo sobre el medio

Uso Legal

Los cultivos piscícolas en jaulas son implementados sobre cuerpos de agua pertenecientes a la nación, por lo que se requieren para su desarrollo cumplir con ciertos requisitos a fin de obtener las licencias exigidas para su funcionamiento legal.

En el contexto nacional para la implementación de un cultivo en jaulas flotantes en embalses o lagunas se han de seguir los lineamientos establecidos en el Decreto 4181 del 03 de noviembre de 2011 y Decreto No. 2256 de 1991, compilado con el Decreto 1071

sembrado en ella. Al respecto se ha de tener cuidado, pues las mallas restringen el paso del agua y pueden reducir la tasa de recambio, por lo que se requiere de su constante supervisión.



Figura 2. Jaula cuadrada con sistema de flotación de canecas plásticas de 10 galones en la represa de Betania. Fuente: Autor

del 26 de mayo de 2015, para obtener los siguientes permisos:

- Certificado uso del suelo en la alcaldía municipal Ley 388 de 1997
- Permiso de concesión de aguas Decreto 1541 de 1978 otorgado por la Corporación Autónoma Regional.
- Permiso de ocupación de cauce Decreto 1541 de 1978 otorgado por la Corporación Autónoma Regional.
- Permiso de cultivo y comercialización. Resolución 601 de 2012 expedido por la AUNAP
- Permiso fluvial - Ministerio de transporte.
- Certificado de Granjas Bioseguras. Resolución 0186 del 2016 expedido por el ICA

Además, se ha de tener en cuenta que a través de la Resolución Número 002287 del 9 DIC 2015 se declararon como especies de peces domesticadas para el desarrollo de la Acuicultura, las siguientes:

Trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*)

Tilapia del Nilo, tilapia plateada o mojarra lora (*Oreochromis niloticus*)

Híbrido tilapia roja (*Oreochromis* sp)

Por lo tanto, las personas que tengan cultivos de jaulas en Colombia deberán cumplir con la Resolución No. 2879 de 2017 expedida por la AUNAP, en la que se exigen medidas de manejo para minimizar los riesgos de escape de especímenes de recursos pesqueros ícticos de especies exóticas, domesticadas y/o trasplantadas y de camarón marino a cuerpos de aguas naturales o artificiales.

Comportamiento y calidad de sus aguas

Las aguas lénticas se caracterizan por tener una movilidad nula respecto a un punto de referencia exterior. Sin embargo, en el seno de la masa acuática las aguas se encuentran en continuo movimiento generado por la fuerza del viento, la energía que directamente recibe de los rayos solares, así como por las entradas y salidas de agua que periódica o continuamente se producen.

Las corrientes de agua se han estudiado y clasificado según las fuerzas que las originan y el lugar en que suceden, siendo las corrientes superficiales (olas, corrientes laminares periódicas y corrientes de Langmuir) las más importantes al igual que las corrientes internas. Se mencionan para resaltar el hecho de que el agua de cualquier embalse se encuentra en continuo movimiento. Las corrientes más interesantes para la piscicultura son las internas.

La velocidad de las corrientes internas varía en cada época del año e incluso de un lugar a otro del embalse. Teniendo en cuenta la benigna influencia que las mismas tienen sobre el cultivo, dado que renuevan el agua de los recintos flotantes aportando nuevas cantidades de oxígeno disuelto, se comprende que el punto elegido para instalar la piscifactoría debe ir

precedido de un estudio de las corrientes del embalse (De Torres y Meléndez, 1989).

La corriente en la zona debe ser suficiente para evitar que las acumulaciones de productos de desecho (heces y restos de comida) generen desoxigenación del agua al mismo tiempo que favorezca la dispersión, difusión y mezcla de los residuos, evitando para la actividad lugares muy cerrados o con poca renovación del agua.

Si el proyecto se piensa establecer en un embalse destinado para la generación de energía es necesario conocer las variaciones en el nivel del mismo a la hora de determinar la ubicación de las jaulas, a fin de tener certeza sobre la profundidad de la zona seleccionada, pues la variación en el nivel será constante y en tiempo de verano podrían generar serios problemas en la producción.

Cabe resaltar la importancia que determinados eventos pueden tener localmente, por ejemplo, escorrentías o desembocaduras de ríos cercanos que podrían ocasionar serios problemas por el deterioro de la calidad de agua. Por esta razón es necesario disponer de datos históricos sobre dichos acontecimientos en los cuerpos de agua en que se proyecte la instalación de las jaulas.

Para llevar a cabo la actividad piscícola en jaulas flotantes se deben tener en cuenta ciertas condiciones que el cuerpo de agua seleccionado debe cumplir en mayor o menor grado. En la Tabla 4 se pueden observar los principales parámetros requeridos a tener en cuenta para la producción de tilapia roja (*Oreochromis spp*) y tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) en jaulas flotantes.

Tabla 4. Principales parámetros fisicoquímicos para la producción de peces tropicales

Parámetro	Unidad	Recomendado	Fuente
Concentración de oxígeno	mg/L	> 4	Kinkelin <i>et al.</i> (1985)
Saturación de oxígeno	%	67 -100	Chapman (1996)
Temperatura	°C	26 -30	
Variación de Temperatura	°C/12h	3	Murphy (2002)
DQO	mg/L	26 - 40	Escribano y De Frutos (1987)
DBO	mg/L	< 3	Escribano y De Frutos (1987)
Fósforo Total	ug/L	< 50	Rodríguez-Ulloa (1996)
Nitrato	mg/L	< 0,5	Chapman (1996)
Nitrito	mg/L	< 0,01 -0,02	Kinkelin <i>et al.</i> (1985)
Amoníaco no-ionizado N-NH ₃	mg/L	< 0,20	Kinkelin <i>et al.</i> (1985)
Dureza total	mg/L	> 20	Kinkelin <i>et al.</i> (1985)
Alcalinidad total	mg/L	> 25	Kinkelin <i>et al.</i> (1985)
pH		6,5 - 8	Chapman (1996)
Grasas y Aceites	mg/L	0,01-0,1	Chapman (1996)
Zinc	ug/L	< 97,9	EPA (2002)
Conductividad	µS/cm	250	Escribano y De Frutos (1987)

Adaptado de Useche *et al.* (2001) y Pérez-Castillo y Rodríguez (2008)

Impacto ambiental o influencia del cultivo sobre el medio

Es inevitable que el cultivo intensivo de peces altere la calidad del agua, pues en una producción de jaulas flotantes es prácticamente imposible contar con algún sistema que permita el tratamiento de las aguas utilizadas; por ello se debe limitar la producción con base en la capacidad amortiguadora del cuerpo de agua, definida, principalmente, por sus características limnológicas y capacidad de autodepuración. De acuerdo con el Instituto Español de Oceanografía en su publicación del 2002, *Impactos ambientales de la acuicultura y la sostenibilidad de esta actividad*, la alteración que provoca el cultivo en jaulas es la aceleración del proceso de eutrofización debido al aporte de elementos nutrientes para las algas, fundamentalmente fósforo y nitrógeno al igual que la materia orgánica.

De acuerdo con Borja (2002), los desechos tanto orgánicos como inorgánicos de las piscifactorías pueden generar un enriquecimiento en nutrientes e incluso eutrofización en el caso de que las zonas destinadas al cultivo sean zonas semiconfinadas. Cerca de un 85 % del fósforo, un 80-88 % del

carbono y un 52-95 % del nitrógeno suministrado en las jaulas pueden pasar al medio acuático a través de los desechos de la comida, excreciones de los peces, producción de heces y la respiración.

Rotta y Queiroz (2003) mencionan además el uso indiscriminado de fármacos, la introducción de organismos patógenos, alteración de la biodiversidad local y la alteración del paisaje en general como otros impactos ambientales de importancia.

Estructuras requeridas para la implementación de un sistema productivo en jaulas flotantes en el contexto empresarial

Jaulón o jaula de Engorde:

Consiste en una estructura cuyas dimensiones varían de acuerdo con las necesidades y posibilidades del piscicultor, por lo general son jaulas con áreas superficiales mayores a los 200 m², con ojos de luz de malla de 11/4" en la que se lleva a cabo el proceso de engorde (Fig. 3).



Figura 3. Jaulones de 12 lados para la producción de tilapia roja en el embalse de Betania, Huila.

Fuente: Autor

Jaula alevinera:

Estas estructuras son de menor tamaño que los jaulones y son utilizadas en algunos proyectos para adelantar los animales en un recinto de menor área,

optimizando así el uso del espacio total del proyecto productivo.

Bodega de concentrados:



Figura 4 y 5- Exterior e interior de una barcaza en la represa de Betania, Huila.

Fuente: Autor

Deben ser espacios ventilados libres de humedad, adecuados con estivas que garanticen el no contacto del alimento con el suelo (Fig. 5). Según el sitio de producción pueden estar ubicadas sobre el cuerpo de agua denominándose barcazas (Fig. 4), o sobre áreas en tierra aledañas al proyecto productivo.

Medios de transporte:

Por encontrarse en cuerpos de agua se hace necesario

contar con embarcaciones adecuadas con motores fuera de borda o sin ellos de acuerdo a las necesidades del piscicultor.

Casa para la estadía de los operarios:

Estos proyectos deben ser custodiados las 24 horas del día y generalmente los operarios trabajan en tiempos internos, por lo que se debe disponer de una estructura de vivienda adecuada para la estadía del personal.

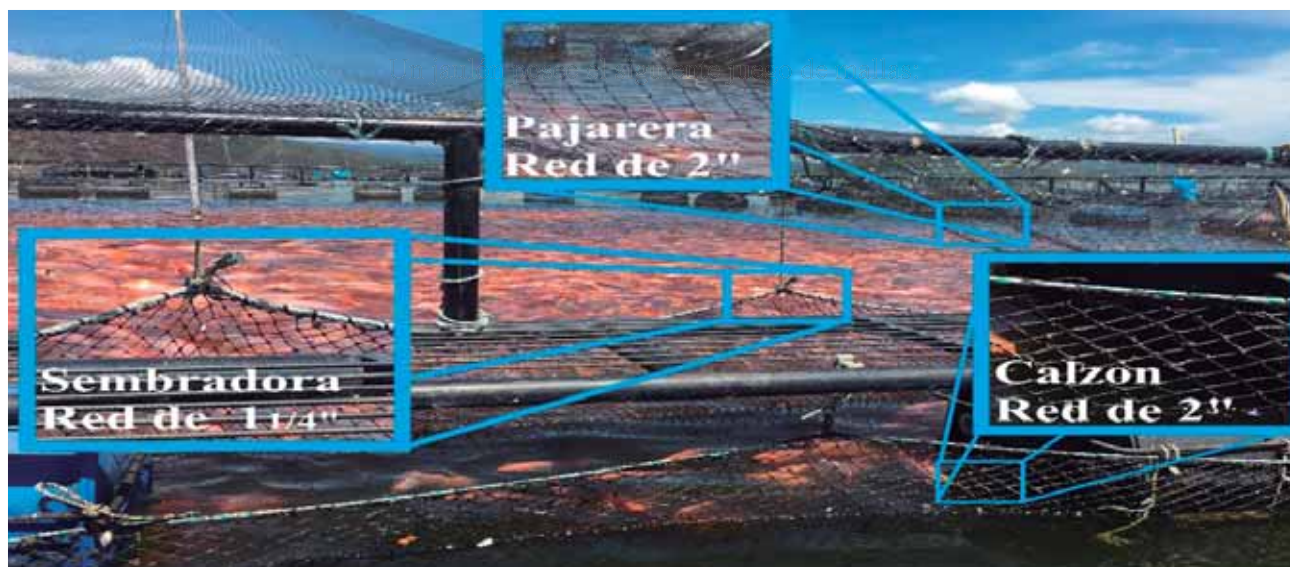


Figura 6. Mallas utilizadas para la implementación de un sistema productivo de jaulas flotantes en el embalse de Betania, Huila.

Fuente: Autor

Malla pajarrera: esta se encuentra recubriendo la parte superior de la jaula evitando la predación por las aves de la zona. Generalmente esta red es de 2 pulgadas de ojo de malla y es suficiente para impedir el ingreso de predadores al interior de la jaula (Fig. 6).

Malla sembradora: es la malla en que se siembran directamente los animales y suele ser de 1 1/4" lo que garantiza que podrá contener sin riesgo de fugas

animales de 20 gramos en adelante.

Sembradora en media luna: Cuando el piscicultor no cuenta con jaulas para la recepción de alevines suele utilizar estas redes para iniciar la siembra dentro del mismo jaulón. Su finalidad es contener animales más pequeños de pre-levante para luego ser liberados en la malla sembradora, su ojo de malla puede ser de 1/4 o 1/2" (Fig. 7).



Figura 7. Jaulón de 12 lados adecuado para la recepción de alevines con dos juegos de mallas sembradoras en medialuna. Embalse de Betania, Huila. Fotografía del autor, 2018.

Fuente: Autor

Calzón o malla protectora:

Está ubicada en el exterior y su función es retener posibles fugas de la malla sembradora por rupturas de la misma y servir como protección ante posibles empalizadas arrastradas por las corrientes de agua.

Alimentador

Es utilizado especialmente en jaulas flotantes de menor tamaño, donde los intercambios de agua son mayores. Asimismo, se implementan para impedir la salida del alimento de del área de la jaula. Pueden

ser un círculo formado por una manguera mayor de 4 pulgadas, el cual flotará dentro del recinto e impedirá la salida del alimento.

Costos de implementación

La Tabla 5 muestra a manera de ejemplo los costos del montaje de un jaulón de 12 lados con pasarelas de 6 m y un área de superficie aproximada de 403 m² para el embalse de Betania. En estos costos no se incluye el correspondiente al transporte de las unidades hasta el sitio de producción.

Tabla 5. Costo construcción de un jaulón de 12 lados con pasarelas de 6 m y un área de superficie aproximada de 403 m² para el embalse de Betania.

Artículo	Costo por unidad	Unidades requerida para jaula de 12 lados	Total por artículo
Pasarelas en tubo de agua negra de 2" calibre 14. Celosías en tubo de 2" ángulo 1/8 x 1". Piso en varilla grafil de 7,5mm. Canastilla para los tambores en varilla de 12mm.	\$ 850.000	12	\$ 10.200.000
Flotación: tambor plástico de 55 galones.	\$50.000	36	\$1.800.000
Malla sembradora de engorde para jaulón de 12 lados en 1 1/4"	\$9.400.000	1	\$9.400.000
Malla calzón en 2" para jaulón de 12 lados	\$4.600.000	1	\$4.600.000
Malla antipajaros jaulón de 12 lados en 2"	\$980.000	1	\$980.000
Malla media luna en 1/2" para siembra alevines pre-levante	\$3.200.000	1	\$3.200.000
"Muertos" o pesas para anclaje	\$60.000	8	\$480.000
Lazo de 16mm para amarre a pesas de anclaje por 200 metros	\$140.000	2	\$280.000
Lazo de 6 mm para amarre de mallas por 500 metros	\$90.000	1	\$90.000
Costo total jaulón 12 lados			\$31.030.000

Fuente: Elaboración del autor.

Descripción del Proceso Productivo

Adquisición de Semilla

En estos sistemas no se realiza el proceso reproducción para obtención de alevinos, pues en las jaulas flotantes no se cuenta con el sustrato adecuado para que los animales puedan realizar dicho proceso, por lo que la semilla de tilapia se adquiere en granjas en tierra especializadas en este tema. Estas pueden ser propias o de terceros cuyo plan de negocios se centra en la venta de alevinos.

Al momento de la compra de los alevinos se debe considerar fenotípicamente la conformación corporal, que estos cuenten con un pedúnculo caudal corto, ausencia de manchas al igual que ausencia deformaciones, y mediante registros realizar seguimientos para garantizar que el rendimiento en filete sea óptimo. Además, y a pesar de que en estos sistemas productivos los animales no realizan el

proceso de reproducción, es importante garantizar que los lotes adquiridos cuenten con un adecuado proceso de reversión garantizando así poblaciones mono sexo que llevaran a la obtención de animales de tallas homogéneas y buenas conversiones alimenticias al momento de la cosecha.

Alevinaje

Generalmente inicia con la recepción de animales mayores a tres gramos en jaulas alevineras donde son alimentados de 6 a 4 veces al día con balanceados altos en proteína y densidades de hasta 400 peces/m².

Una vez adquiridos los animales estos pueden ser transportados a las jaulas o jaulones en bolsas, tanques o carros con suministro constante de oxígeno. La forma en que son transportados dependerá del paquete tecnológico con que cuente la zona en la que se encuentre ubicado el proyecto productivo y la capacidad de acceder a la misma del piscicultor.



Figuras 8 y 9. Transporte de alevines y concentrado en camiones en el embalse de Betania. Fuente: Autor

En el embalse de Betania es normal utilizar ferris en los que se transportan los camiones con alevinos o concentrados hasta el proyecto productivo (Figs. 8 y 9).

Para una adecuada recepción se debe determinar el tamaño del animal con el propósito de adecuar el jaulón o jaula alevinera con una red acorde a la talla del alevín a recibir. De la misma manera, tendrá que garantizar que no existan fugas de los especímenes contenidos en ella. Para esto se utilizan redes de ojo de malla dos veces inferior a la altura máxima del espécimen más pequeño. Se puede recibir animales en mallas de $\frac{1}{4}$ de pulgada, para lo que serán requeridos animales con pesos superiores a los 2 gramos en promedio. Sin embargo, se recomienda llevar los animales con tallas y edades mayores a los 2 meses, pues el sistema inmune estará más desarrollado y se tendrán mejores resultados de sobrevivencia (Olabuenaga, 2000).

Otro inconveniente del uso de redes de $\frac{1}{4}$ de pulgada es que debido a lo estrecho del ojo de malla esta tiende a taparse rápidamente obstruyendo el libre flujo de agua al interior, deteriorando las condiciones para los animales. Por este motivo se recomienda que como mínimo se reciban animales de 3 gramos en redes de $\frac{1}{2}$ pulgada.

Una vez recibidos los animales pasarán aproximadamente un mes en el que los animales alcanzarán un peso superior a los 20 gramos.

Engorde

Los animales se reciben de las jaulas alevineras en los jaulones donde terminarán su proceso de engorde en 4-5 meses alcanzando tallas superiores a los 450 gramos en el caso de la mojarra roja, ó 7 a 8 meses para la nilótica, alcanzando tallas superiores a los 1200 gramos; serán alimentados de 2 a 4 veces al día. La principal diferencia con la jaula de alevinaje es el tipo

de alimento suministrado y el ojo de malla, pues son sembrados en redes de $1\frac{1}{4}$ de pulgada la cual cuenta con un mayor flujo de agua y en áreas mayores, con densidades de siembra cercanas a los 250 peces/ m².

Alimentación

En estos cultivos el alimento suministrado es en su totalidad proveniente de alimentos balanceados ofrecidos por las casas comerciales y sus presentaciones pueden observar en la Tabla 6.

Tabla 6. Ejemplo de la presentación de balanceados por casas comerciales

Presentación por inclusión de proteína	Tamaño Partícula en mm
Mojarra 45% Harina	Harina
Mojarra 38% Harina	Harina
Mojarra 45% Extruder	1,5
Mojarra 38%	2 y 3
Mojarra 34%	3 inicial y 3,7 Normal
Mojarra 32%	3,7 - 4,5 y 7
Mojarra 30%	4,5
Mojarra 24%	5

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Al ser producciones de tipo intensivo los peces cultivados en jaulas flotantes tienen un limitado acceso a alimentos naturales y están expuestos a condiciones

más estresantes que los peces en lagunas (Ono y Kubitz, 2003). Por lo que el alimento suministrado debe ser completo y adecuadamente balanceado para cubrir los requisitos nutricionales de la tilapia.

En general los requerimientos de proteína son mayores en estadios tempranos y van disminuyendo conforme el animal crece. Estos cambios se realizan en cantidad y presentación de acuerdo con los parámetros medioambientales, etapa de crecimiento

y de la biomasa y son ajustados con muestreos periódicos de los animales, teniendo en cuenta las variables fisicoquímicas del entorno y bajo el criterio del técnico encargado del sistema productivo. En la etapa de alevinaje suelen utilizarse las presentaciones 45 y 38% harina, 45% y 40% extruder de 1,5 mm y 1 mm y 38% extruder de 2 y 3 mm. En la etapa de engorde son utilizadas las presentaciones 34% de 3 y 3,7 mm hasta el 24 % y 20% de 5 mm y 7 mm.



Figura 10. Mortalidad de peces en jaulas flotantes embalse de Betania Huila.

Fuente: Autor

Enfermedades de importancia en Cultivos de Tilapia

Para los cultivos de tilapia no existen actualmente enfermedades de declaración obligatoria ante la Organización Mundial para la Sanidad Animal-OIE. Sin embargo, la presencia de brotes de enfermedades de origen parasitario, bacteriano y viral ocasionan pérdidas económicas de gran importancia en los proyectos productivos en jaulas flotantes (Fig. 10).

Para Pulido (2012) el incremento en los niveles de intensificación de los sistemas de cultivo viene acompañado de una mayor presentación de alteraciones de tipo sanitario. El mismo autor realiza una clasificación de las principales causas de mortalidad en cultivos intensivos y superintensivos de tilapia en Colombia como se muestra a continuación:

Infestaciones parasitarias

Infestación por trichodínidos: (géneros *Trichodina*, *Trichodinella* y *Tripartiella*) Generalmente afecta las branquias y la orofaringe, pero pueden afectar también la piel y las aletas; por lo anterior, los peces afectados suelen observarse con dificultad respiratoria y letargia.

Infestación por tremátodos monogéneos: principalmente por especies de las familias Dactylogyridae y Gyrodactylidae. Es muy común encontrar algunos de estos parásitos entre los filamentos de las branquias sin causar un daño significativo; sin embargo, en infestaciones severas donde pueden estar presentes también en la piel, especialmente en larvas, pueden llegar a causar mortalidades.

Infestación por coccidias: Es el único parásito gastrointestinal de importancia en las tilapias

cultivadas en nuestro medio. En tilapia se han reportado los géneros *Eimeria* y *Goussia*, los cuales ocasionan un aumento en la mortalidad, especialmente en las larvas de reversión.

Infecciones bacterianas

Infección por *Streptococcus* sp: Es una de las causas de mortalidad más importantes en la etapa de engorde de las tilapias cultivadas en Colombia y en el mundo entero. En 1999 se identificó por primera vez en Colombia la estreptococosis en híbridos de tilapias de cultivo. La posterior secuenciación del ADN de distintos aislamientos obtenidos de varias regiones del país demostró un 98,8% de afinidad con el *Streptococcus agalactiae* (Ariza-Botero *et al.*, 2007), siendo relacionado como el responsable de septicemia y meningoencefalitis en peces (Pulido y Iregui, 2003). Actualmente en el país se está implementado el uso de vacunas en producciones en jaulas flotantes como medida preventiva, obteniéndose resultados positivos para el control de esta enfermedad.

Infección por *Aeromonas hydrophila*: Su principal forma de presentación es una septicemia hemorrágica, observándose macroscópicamente manchas rojizas sobre la piel, ojos, boca, opérculos y órganos internos como el hígado y riñón; se puede observar también un contenido rojizo en el tracto gastrointestinal y eventualmente en la cavidad abdominal.

Infección por *Flavobacterium columnaris*: Esta bacteria secreta potentes enzimas que le posibilitan atacar y destruir de forma severa la piel, branquias y aletas, especialmente el pedúnculo caudal, lo cual se relaciona a su principal manifestación clínica: severas erosiones y úlceras en estos tejidos

Infección por *Edwardsiella tarda*: Se manifiesta con nado errático, exoftalmia y letargia. En casos severos se pueden observar pequeños nódulos en el bazo, hígado y riñón

Además de los patógenos mencionados anteriormente existe una enfermedad denominada el virus de la tilapia lacustre TiLV, perteneciente a la familia de los virus Orthomyxoviridae, que aunque no entraña riesgos para la salud humana, puede tener un gran impacto en los cultivos de tilapia mostrando una tasa de mortalidad muy variable, con brotes en Tailandia que han provocado la muerte de hasta el 90 por ciento de las poblaciones. Los peces infectados muestran a menudo pérdida de apetito, lentitud de movimientos, lesiones y úlceras dérmicas, anomalías oculares y un cristalino opaco. Según la FAO la presencia del virus de la tilapia lacustre ha sido confirmada en

cinco países de tres continentes: Colombia, Ecuador, Egipto, Israel y Tailandia, aunque el Instituto Nacional Agropecuario, ICA, advierte que “debido a la falta de métodos de diagnóstico estandarizados y confiables para TiLV a escala mundial, no se ha podido hacer su confirmación” en el país.

Cosecha

Una vez alcanzada la talla comercial los animales son capturados con la ayuda de redes diseñadas especialmente para esta labor (Fig. 11). Según la tecnología utilizada en la zona en que se encuentre ubicado el sistema productivo se podrá contar o no con la ayuda de ferris y camiones, adecuados para la recolecta de la cosecha en las jaulas flotantes, para luego ser trasladadas a las salas de proceso o sitios donde se realice el beneficio de los animales.

Entre los métodos utilizados para la labor de cosecha existen diferencias de manejo para el producto de acuerdo con el destino final del mismo, pudiendo ser para exportación o para mercado nacional. Cuando el proceso de cosecha es realizado para exportación los animales deben llegar vivos a las salas de proceso, por los que los métodos de captura están diseñados para garantizar el menor maltrato posible, llevando un control estricto en la temperatura del agua del carro la cual debe ser ligeramente inferior a la temperatura en que se encuentran los animales en las jaulas, se debe contar con oxigenación constante y para evitar laceraciones entre los animales no se deben exceder en las biomásas dispuestas en el carro de recolección. Para mercado nacional lo ideal es mantener la temperatura del agua en el carro por debajo de 14 °C, no se implementa oxigenación ni realiza control de la biomasa dispuesta en los vehículos de recolección aparte de la cuantificación total de peso por despacho.

Mercado

La tilapia es un producto de alto potencial siendo la especie de cultivo de agua dulce que más se produce en el país gracias a la gran aceptación por los consumidores, su consumo a nivel local va en incremento. De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y desarrollo rural - MADR (2018), para el 2013 el consumo per cápita anual para acuicultura era de 2,38 Kilos por persona/año y para el 2017 fue de 3,23 kilos por persona/año. Así, durante el último quinquenio el consumo per cápita de productos de acuicultura se incrementó en 0,97 kilos por persona/año.

La disposición del producto final tiene dos nichos definidos, el mercado Nacional y Exportación. La tilapia y específicamente su filete tiene una gran



Figura 11. Proceso de cosecha en jaulas flotantes en el embalse de Betania.
Fuente: Autor

aceptación en mercados extranjeros, siendo Estados Unidos uno de los mayores consumidores de este producto. Las presentaciones para el mercado nacional es entero fresco siendo esta la presentación

más comercializada, también están las presentaciones entero congelado, con el proceso de “SESA” sin escamas y sin agallas y en menor proporción en filete.

Referencias

- Ariza-Botero, M. F., Figueroa-Ramirez, J., Iregui-Castro, C. A., Jiménez, A., Penagos, G., y Rey-Castaño A. L. (2007). *Streptococcus agalactiae*: hasta ahora el único *Streptococcus* patógeno de tilapias cultivadas en Colombia. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia* 54 (2), pp. 285-294. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=407639214004>
- Beveridge, M.C.M. (1986). Piscicultura en jaulas y corrales. Modelos para calcular la capacidad de carga y las repercusiones en el ambiente. FAO Documento Técnico de Pesca, (255): 111 p.
- Borja, Á. (2002). Los impactos ambientales de la acuicultura y la sostenibilidad de esta actividad. Fundación AZTI. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* 18 (1-4), pp. 41-49. España. Recuperado de: www.revistas.ieo.es/index.php/boletin_ieo/article/download/163/156
- De Torres Pérez, M., y Melendez-Robledillo, J. M. (1989). Piscicultura En Jaulas Flotantes. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. *Hojas Divulgadoras* 18 HD. Madrid.
- Halwart, M., Soto, D., y Arthur, J.R. (2008). Acuicultura en jaulas – Estudios regionales y panorama mundial. FAO Documento Técnico de Pesca. Roma. (498): 270 p.
- Pulido, E. A. e Iregui, C. A. (2010). Hibridación *in situ* para la detección de *Streptococcus agalactiae* en tejidos de tilapia (*Oreochromis* sp.) *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*. 57(1): 11-22. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Colombia.
- Queiroz, J.F. y Rotta, M. A. (2003). Boas práticas de manejo (BPMs) para a produção de peixes em tanques-redes. *Documentos / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa*, 47, Centro de Pesquisa Agropecuária do Platanal. Corumbá, M.S.
- Torres Quintero, E. (2010). Determinar la capacidad de carga del embalse del Guájaro, como condición especial para decidir la viabilidad ambiental de cultivos intensivos de peces en jaulas y establecer las zonas donde se puede desarrollar esta actividad.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR. (2010). Informe Encuesta Nacional Piscícola Segundo semestre de 2010B, Informe de Resultados. Colombia
- Ministerio de Agricultura y desarrollo rural - MADR. (26 de diciembre de 2013). Informe Encuesta Nacional Piscícola Segundo Semestre de 2013B, Informe de Resultados. Colombia. Recuperado de: http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11438/7725/1/OA-PSC-INF-02_Informe%20ENP%20Semestre%202%202013_Ajust_2014.pdf
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR. (2018). Dirección de cadenas pecuarias y acuícolas. Cadena de la acuicultura 2018. Colombia. Ministerio de Agricultura y desarrollo rural – MADR (2018). Encuesta Nacional Piscícola 2012B Informe de Resultados. Dirección de Cadenas Pecuarias, Cadena de la Acuicultura Pesqueras y Acuícolas Cadena de la Acuicultura. Colombia.
- Olabuenaga, S. E. (2000). Sistema Inmune en Peces. *Gayana, Concepción* 64 (2). Universidad Nacional del Comahue, Bariloche, Argentina. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-65382000000200010>. Ono, E.A. y Kubitza, F. (2003). Cultivo de peixes em tanques-rede. 3ª ed. rev. eampl. Jundiaí: Eduardo Ono. 112 pp.

Pérez-Castillo, G., y Rodríguez, A. (2008). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. Escuela de Química y Centro de Investigación en Contaminación Ambiental, Universidad de Costa Rica. *Revista Biología Tropical* 56(4), pp. 1905-1918. Recuperado de: <http://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v56n4/art26v56n4.pdf>

Pulido, E. A. (2012). Principales Causas de Mortalidad en Cultivos Intensivos y Superintensivos de Tilapia en Colombia. *Revista electrónica de ingeniería en producción acuícola* Volumen 6. <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/download/1508/1847>.

Useche L., C., Aviles B., M. y Dorado L., M.P. (2001). Cultivo de peces en jaulas. En: H. Rodríguez G., P. Victoria Daza y M. Carrillo Avila (Ed.). Fundamentos de acuicultura. (pp. 367-378). Bogotá, Colombia: Grafimpreso Quintero.

CAPÍTULO 8

PRODUCCIÓN DE TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*) EN ESTANQUES Y JAULAS

RAFAEL ROSADO PUCCINI¹ Y OSCAR MURILLO GARCÍA²



Introducción

La producción de truchas en el país sigue un patrón similar a la tendencia creciente de crecimiento que muestra el sector piscícola en general. Con una participación del 8% y unas 7.000 toneladas en el 2013, 10.400 en el 2014 (10,7%), a 2017 los registros indican que en Colombia se alcanzó un nivel ligeramente superior a las 20.000 toneladas (17%), en un volumen producido similar al que se presentó con cachamas en este año (MADR, 2018). Es un indicativo importante, en tanto representa la fortaleza que, como actividad productiva, viene adquiriendo la piscicultura en aguas frías nacionales en las que, hasta el momento y a diferencia de lo que se presenta para aguas cálidas, no existe alternativa diferente.

Este crecimiento, no obstante, no está ajeno a retos y dificultades, y se reconoce que aún hay espacios para un mayor desarrollo, sustentado en el potencial que se tiene tanto con las condiciones de disponibilidad de áreas con aptitud suficiente (Hortúa, 2013), como por la implementación de tecnologías de avanzada que permitirían ampliar los límites actuales de la frontera truchícola. La consolidación de explotaciones, el incremento que muestran los sistemas de jaulas, la incorporación de tecnologías para seguridad y mejora productiva y, especialmente, los resultados crecientes de un importante impulso exportador (FEDEACUA, 2015; MADR, 2018), explican en parte las cifras expuestas. Por otra parte, las dificultades institucionales para formalizar nuevos o existentes

emprendimientos, con un impacto significativo representado en aquellos relacionados con la gestión de uso del recurso hídrico, son dificultades serias que aún el productor enfrenta y, de alguna manera, se trata de elementos que desmotivan mayores inversiones y ralentizan lo que podría ser un crecimiento mayor. El conjunto de limitaciones, aún vigentes, que enfrenta el sector ha sido acertadamente diagnosticado, además de reiteradamente expuesto en varios documentos a través de los últimos años (Espinal *et al.* 2005; Merino *et al.*, 2013; Gómez, 2014; AUNAP, 2014); en cuanto la mayoría de limitantes sigue generando impactos, con avances restringidos o poco significativos, su resolución continúa estando dentro de las prioridades que requiere el desarrollo integral de la actividad.

En la distribución regional, la producción tiene como mayores representantes a Antioquía, Cundinamarca, Boyacá y Tolima; con participación importante, en cuanto intervienen algunas explotaciones individuales de alto nivel, también se tienen Cauca, Risaralda, Nariño y Santander. En lo que se refiere a sistemas en jaulas, de los 47 cuerpos de agua que existen en el país entre lagos, lagunas, embalses y ciénagas, se ha establecido que en 10 se cuenta con potencial para la producción piscícola en general. En lo que se refiere particularmente a truchas, la producción se centraliza en los lagos de Tota (Boyacá) y La Cocha o Guamués (Nariño). Sistemas de jaulas, ubicados en sitios privados, se tienen en Antioquía, Santander y Tolima; es factible que la escala de este tipo de proyectos se amplíe con el uso autorizado de otros cuerpos de agua,

¹Biólogo Marino. M.Sc. Truchas de La Sierra. rrosadop@unal.edu.co

²Zootecnista. M.Sc. Trout Co SAS. oscarmurillo@yahoo.es

bien de uso público o áreas privadas, específicamente para la producción de truchas.

El objetivo del presente capítulo es abordar principios generales que complementan la información contenida en versiones anteriores de la serie sobre Fundamentos en Acuicultura Continental; se consideran aspectos que tienen relación con la evolución que ha mostrado la truchicultura en el país en los últimos años, haciendo énfasis en elementos provenientes de la propia experiencia nacional. Se ha tratado de exponer en términos principalmente prácticos, con información sobre procedimientos ajustados al manejo habitual de la especie, en sistemas tanto de estanques como en jaulas. En los referentes incluidos se ofrece una selección que permite acceder a aspectos particulares sobre cada una de las etapas expuestas, de forma que al lector interesado se le facilite profundizar sobre temas específicos de todo el conjunto de posibilidades técnicas que conciernen al cultivo de truchas.

Generalidades

Calidad de agua

La caracterización físico-química del agua debe preceder a las evaluaciones de sitio antes de cualquier implementación para truchas y, ya en operación, tiene que considerarse como una rutina regular de manejo, incluyéndose por tanto como un rubro más dentro de los costos de producción. Las truchas son especialmente exigentes en condiciones de calidad, sobre todo en ciertos parámetros claves, los que deben mantenerse dentro de estrechos rangos o incluso, como en el oxígeno, ubicarse en valores que son elevados cuando se comparan con lo requerido por otras especies; rebasar los que se denominan límites sin efecto deriva en el compromiso de los estimados productivos, lo que en el caso de sistemas intensivos o superintensivos puede poner en riesgo importantes capitales. Se debe entender que aunque la fuente a utilizar pueda aparecer como adecuada, será la operación productiva la que genere las variaciones, tanto más fuertes cuanto mayor sea la escala del cultivo. Entre los cambios más importantes se encuentran la disminución en los niveles de oxígeno por la respiración de los peces y en el aumento en los compuestos nitrogenados (amonio, nitritos y nitratos), el dióxido de carbono y sólidos totales y suspendidos, lo que se debe tener en cuenta cuando hay reuso o recirculación del agua.

Particularmente en el entorno cercano de los cultivos en jaulas las transformaciones pueden ser más significativas, en tanto son espacios susceptibles a un mayor enriquecimiento por nutrientes; este tipo de cultivo contribuye en la formación de depósitos

locales de sedimentos y detritos que, si no es factible que sean retirados natural o artificialmente, pueden generar fuertes impactos, de diversa naturaleza, a la producción misma.

Los máximos tolerables que se tienen para en la especie en múltiples factores se encuentran definidos y descritos (Pillay y Kutty, 2005), pero en la práctica habitual de monitoreo y control se contemplan típicamente los siguientes (Tabla 1):

Temperatura: es la característica física del agua de mayor relevancia para fines productivos, en cuanto condiciona la tasa de crecimiento de las truchas. Aunque por periodos cortos sobreviven en temperaturas que superan los 20°C, una producción segura debe considerar como máximo un 18°C, estando los rangos óptimos para la fase de obtención de semilla entre los 9 y 12°C y para el engorde entre 14 y 16°C. En incubación y larvicultura valores por fuera de estos rangos se manifestarán principalmente en la mortalidad, mientras que en la producción de carne el efecto más visible estará en la duración del ciclo.

La producción de truchas de consumo, si bien en la práctica puede ser adelantada en un rango de temperaturas que pueden ir de los 10 a los 18°C, tiene su ideal en las cercanas a los 15°C; a partir de allí, tanto para valores superiores como inferiores se tienen efectos sobre el desempeño; de manera aproximada, cada grado centígrado que se aleje de este óptimo tiene un efecto sobre el metabolismo de las truchas en un 8 - 11%, lo que se traduce en crecimientos inferiores a los de su potencial. Es la razón por la cual se observa que en la mayoría de las tablas de alimentación, las tasas máximas de suministro están en los 15°C, disminuyendo la cantidad en uno u otro sentido. En el caso de la variedad Kamloops se tiene estimada, para esta temperatura y en condiciones ideales, una máxima tasa de crecimiento promedio en longitud de 1,27 mm día⁻¹. Pero cuando el cultivo se encuentra a 11°C, esta tasa se reduce a 0,851 mm día⁻¹, es decir, un 33% inferior a la máxima posible. Las truchas expresarán mejor su potencial de crecimiento cuanto menor sea la variación de la temperatura alrededor del promedio.

Oxígeno disuelto: en particular se configura como el primer parámetro limitante del nivel de producción y, en términos generales, mientras más disponibilidad mayor cantidad de peces se podrá mantener. Se asume como ideal que al menos la concentración en la fuente sea superior a los 7 mg l⁻¹, con una saturación superior al 90%, entendiendo que los factores que modulan la capacidad del agua para sostener oxígeno son la

temperatura y la presión atmosférica (relacionada con la altura del sitio sobre el nivel del mar). En el caso de cultivo en jaulas se debe promover, mediante manejo de cargas, localización de la estructura o uso de equipos de soporte, que este permanezca entre 6 y 9 mg l⁻¹; en estanques, los cálculos se realizan para conservar un mínimo seguro en la salida de 5 – 5,5 mg l⁻¹. Cualquiera que sea el sistema, valores inferiores comienzan por generar una deficiente aceptación y uso del alimento y, en los extremos, aumenta el riesgo de pérdidas; por debajo de los 4 mg l⁻¹ la capacidad de las truchas para extraer oxígeno del medio se limita y se activan respuestas metabólicas de emergencia a condiciones de hipoxia ambiental.

La cantidad de oxígeno disponible no es una constante y, de hecho, cambia durante el día, tanto por factores externos de la fuente o el cuerpo de agua, como por internos o asociados a los peces mismos, entre esos la mayor demanda que origina la digestión del alimento. La saturación debe ser igualmente registrada, pues con niveles inferiores al 70% se afecta el crecimiento y la conversión alimenticia; en el 60% hay una reducción en la ingesta del alimento. De allí, que la medición, como mecanismo de seguridad y control, deba ser efectuada de forma rutinaria sobre las diferentes unidades. Hoy día son mayores las facilidades para contar con equipos de medición, lo que soluciona la rapidez y frecuencia con la que se pueden adelantar las comprobaciones; disponer de un completo un historial de registros es factible y debe ser tomado como indispensable para cualquier explotación.

A diferencia de lo que sucede en el cultivo en estanques, la variación diaria en la concentración de oxígeno es una característica de los cuerpos de agua, pues coexisten poblaciones de organismos que contribuyen con su consumo o producción en un ritmo de 24 horas, condicionado por la alternancia luz:oscuridad; por tanto, el monitoreo constante y la construcción de curvas de variación de oxígeno es una rutina que adquiere mayor importancia en este tipo de sistemas. En un manejo adecuado, estas curvas permitirán ajustes en la práctica alimenticia, pues pueden llegar a ser especialmente críticas las disminuciones en horas de la noche.

Dióxido de carbono: en unidades de cultivo su presencia es producto de la respiración de los peces y, en menor medida, de la descomposición de la materia orgánica. En jaulas su influencia es mayor pues, además de las anteriores, intervienen procesos externos como la fluctuación debida a procesos de fotosíntesis por parte de las poblaciones naturales de algas presentes en el cuerpo de agua, por lo que es un parámetro que, bajo ciertas condiciones, podría limitar la producción,

pues la exposición a altas concentraciones disminuye la tolerancia a concentraciones bajas de oxígeno disuelto y niveles altos en el agua reducen la tasa de excreción vía branquial. En general, la concentración de dióxido de carbono no debe exceder 2 mg l⁻¹ y cuando esta se eleva el pH se reduce,

Compuestos nitrogenados: en la práctica piscícola, el ingreso de nitrógeno al sistema de cultivo básicamente está dado por la introducción de alimento; se trata de derivados que resultan del metabolismo de las proteínas, representados por el amonio, nitritos y nitratos, todos con algún grado de toxicidad, siendo particularmente el amonio el que configura el mayor riesgo. Las concentraciones de cada uno pueden elevarse al punto de ocasionar efectos agudos, subletales o letales sobre los peces que, según el nivel de exposición, pueden tener graves consecuencias inmediatas, o adversas a lo largo del tiempo. A partir del amonio, con la participación de bacterias aeróbicas autotróficas, se producen nitritos y nitratos en un proceso de nitrificación. El amonio total se configura por la suma de las formas no ionizada (NH₃) o ionizada (NH₄⁺) y la concentración de cada una en aguas dulces depende de la temperatura y el pH.

Potencial de hidrógeno (pH): expresa la concentración de iones hidrógeno en el agua y es la expresión de las características ácidas o básicas que esta presenta. Varía entre 0 y 14, estando el rango ideal en truchas entre 6,5 y 8,5. Se reduce el crecimiento entre 6 y 6,5 y los límites letales están para aguas ácidas en 4 y para alcalinas en 11. El valor de pH puede ser indicador de posibles agentes contaminantes.

Alcalinidad: está referida a la presencia de carbonatos y bicarbonatos, especialmente de calcio y magnesio, y representa el principal sistema amortiguador en aguas dulces, por lo que en aguas blandas o de baja alcalinidad, el pH tiende a mostrar una mayor variación. Se utiliza como un indicador de la productividad de lagos, donde niveles de alcalinidad altos indicarían una productividad alta y viceversa. En términos prácticos, la alcalinidad del agua dulce fluctúa entre 5 mg l⁻¹, en aguas blandas, hasta más de 500 mg l⁻¹ en aguas duras; su concentración se determina por métodos químicos en laboratorio y estará ligada directamente al pH del sistema y a la concentración de dióxido de carbono. El rango adecuado para el cultivo fluctúa de 150 a 180 mg l⁻¹.

Dureza total: la dureza del agua depende de la concentración de sales de calcio y magnesio y se expresa en ppm de carbonato de calcio (CaCO₃). Para los casos de cultivo es recomendable que las aguas

sean moderadamente duras, en un rango de 50 a 250 ppm.

Transparencia: en cuanto las truchas dependen de la visión para la captura del alimento, aguas con reducida o nula turbidez son, sea cual sea el sistema, deseables. En cuerpos de agua, el enturbiamiento reduce la actividad fotosintética, debido a que el paso de la luz es limitado por organismos y materiales en suspensión, lo que puede ocasionar variaciones diarias importantes en concentraciones de oxígeno, dióxido de carbono y pH; en estos sistemas, la medición de la transparencia con el disco de Secchi debe ser también rutinaria, con el fin de disponer mecanismos de manejo sobre la práctica alimenticia o la necesidad de uso de equipos de soporte. En cultivos en estanques la turbidez se origina por arrastre de material, frecuente en las épocas de invierno; en estos casos la práctica de manejo habitual consiste en suspender el suministro de alimento.

Sólidos sedimentables, suspendidos y disueltos: los desechos sólidos principales en un cultivo

están representados por el alimento no ingerido, las partículas finas de alimento, las heces de los organismos bajo cultivo y, cuando se dispone de ellos, de algas o películas bacterianas que se desprenden de los biofiltros; por su producción constante, se acumulan y constituyen un factor de demanda de oxígeno y de la incorporación de nutrientes al agua. Afectan el sistema branquial y generan un estrés que favorece la acción de patógenos. Para el caso de las truchas, los sólidos totales no deberían superar los 80 mg l⁻¹.

Biología acuática: las poblaciones de organismos de fitoplancton y zooplancton naturales en los cuerpos de agua configuran comunidades cuya dinámica e interacciones tienen efectos sobre el medio acuático; dadas ciertas condiciones ambientales o por ciclos naturales normales se pueden generar situaciones que afecten a las truchas en cultivo; disponer de información referente al tipo de especies presentes y su dinámica estacional en el sistema hace parte de las caracterizaciones necesarias, especialmente en el caso de los cultivos en jaulas.

Tabla 1. Parámetros de calidad de agua en el cultivo de trucha arcoíris

Parámetro	Rango
Temperatura (°C)	10 a 18
Oxígeno disuelto (mg l ⁻¹)	> 7; (> 90% saturación)
Amonio (NH ₃ ; mg l ⁻¹)	< 0,01
Nitritos (NO ₂ ; mg l ⁻¹)	< 0,06
Alcalinidad (mg l ⁻¹ de CaCO ₃)	30 – 400
Dureza (mg l ⁻¹ de CaCO ₃)	30 – 400
pH	6,5 - 8,5
Sólidos suspendidos totales (mg l ⁻¹)	< 80
Dióxido de Carbono (mg l ⁻¹)	< 2

Fuente: adaptado de Gordon *et al.* (1988) y Pillay y Kutty (2005)

En el escenario más conveniente, mientras mayor conocimiento se tenga sobre el comportamiento de los diferentes parámetros del agua, más efectivos serán los mecanismos de manejo y su adaptación a situaciones variables o de riesgo; no obstante, en la práctica corriente, por costos, equipos o tiempo, se deben establecer rutinas que al menos consideren aquellos que por su impacto deben ser constantemente monitoreados. Siempre, los registros de temperatura y oxígeno disuelto son, bajo esa consideración,

fundamentales y de registro diario; sobre todo en jaulas, el pH debe ser considerado, en tanto su medición es sencilla y puede servir indirectamente como indicador de la posible variación en otros con los que se relaciona. La importancia del control sobre los compuestos tóxicos, como los desechos nitrogenados, es clave, por lo que la periodicidad con la que se debe ser medido debería, en consecuencia, ser la mayor posible; particularmente las unidades que mantienen las cargas más elevadas y a las que ingresa

una cantidad de alimento superior son susceptibles a riesgos superiores.

Aspectos de práctica alimenticia

La biología y fisiología de las truchas es la que corresponde a peces de hábitos eminentemente carnívoros, con un intestino relativamente corto y un sistema enzimático no adaptado para la descomposición y digestión de carbohidratos complejos; esto condiciona la forma en la que se balancean los concentrados, tanto en la proporción en la que debe estar incluido cada uno de los nutrientes como en el tipo y la fuente de los ingredientes. La especie se caracteriza por demandar alimentos que contienen elevados porcentajes de proteína, si bien estos son variables según el estado de desarrollo. La calidad nutricional del alimento influenciará la salud, el comportamiento, funciones fisiológicas normales, reproducción y crecimiento por lo que, en consecuencia y por definición, debe estar garantizada por las casas comerciales que lo fabrican y en la rutina de seguimiento y producción sus características se reflejarán, principalmente, por la conversión que finalmente ofrecerá cada balanceado. Aspectos adicionales que deben ser monitoreados son la condición de los peces a través del ciclo y, cuando corresponda, la escala y el tiempo en que se alcanza la pigmentación. No obstante, la práctica de alimentación es un factor que compete directamente al productor, de forma que los estimados teóricos que cada marca ofrece redunden realmente en los postulados productivos establecidos según el caso. En términos generales, la práctica alimenticia, es decir el conjunto de medios para lograr un uso eficiente del alimento, se basará en la utilización de la referencia adecuada para una etapa dada, el cálculo preciso de la tasa a suministrar, la frecuencia y la forma en las que

este será ofrecido.

Como el alimento representa el rubro de mayor peso dentro de los costos de producción, es claro que un programa inadecuado tendrá fuerte impacto sobre la rentabilidad; así, el manejo de las cantidades y los tipos de alimento a suministrar deben ser controlados y evaluados permanentemente. La constante observación, con un riguroso plan de muestreos, el análisis de la respuesta en crecimiento y su ajuste a los valores esperados, son elementos cuyo monitoreo es esencial para la toma de decisiones.

La cantidad de alimento que se debe suministrar diariamente está en función de la talla promedio de los peces, usando el peso para calcular la biomasa presente, y la temperatura del agua; se expresa en términos de porcentaje de la biomasa en cada unidad de cultivo, fijada con base en la talla (longitud o peso) de los peces. Todas las casas comerciales que producen los concentrados disponen de tablas de alimentación ajustadas a las características y resultados esperados de sus productos; son referentes de base que permiten ser adaptados con relación a la respuesta que manifiestan los peces en cada sistema particular, lo que reafirma la importancia de los registros de desempeño y su análisis constante. Entendiendo que cada marca debe contar con sus propias tablas, la siguiente es un ejemplo de una ajustada para la especie (Tabla 2). En todas se relacionan en filas y columnas la talla del pez (en peso, longitud o ambas) y la temperatura del sitio; el cruce de los dos datos dará el valor que representa la cantidad a suministrar, en términos de porcentaje de la biomasa presente en la unidad de cultivo. Es evidente, entonces, que para adelantar cualquier ajuste previamente se debe disponer de los datos de talla promedio del lote y del inventario correspondiente.

Tabla 2. Ejemplo de una tabla de alimentación para trucha arcoíris en el rango de los 2,5 a los 25 cm de longitud total

Rango de longitud total (cm)	Rango de peso (g)	TEMPERATURA (°C)								
		9	10	11	12	13	14	15	16	17
< 2,5	< 0,18	4,5	5,2	5	5,7	6,2	6,7	7,3	7,7	8,3
2,5 – 5	0,18 - 1,5	3,8	4,3	4,5	4,8	5,2	5,6	6	6,4	6,8
5 - 7,5	1,5 - 5,0	3,1	3,4	3,6	3,9	4,2	4,5	5	5,2	5,6
7,5 – 10	5,0 - 12,0	2,4	2,7	2,8	3	3,2	3,5	3,7	4,1	4,4
10 - 12,5	12,0 - 23,0	1,8	2	2,1	2,3	2,4	2,6	2,8	3,1	3,3
12,5 – 15	23,0 - 40,0	1,5	1,7	1,7	1,8	2	2,1	2,3	2,5	2,7
15 - 17,5	40,0 - 60,0	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1
17,5 – 20	60,0 - 90,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
20 - 22,5	90,0 - 130,0	1	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
22,5 – 25	130,0 - 180,0	0,9	1	1	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
> 25	> 180,0	0,8	0,9	0,9	1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4

Fuente: Leitritz y Lewis (1976) y Gorgon *et al.* (1988)

Los productores de concentrado también deben proporcionar información validada sobre la respuesta, en términos de conversión, que su alimento puede ofrecer, dato que es fundamental para los controles globales en el desempeño del cultivo. El cálculo del Factor de Conversión Alimenticia (FCA) es un procedimiento sencillo que se obtiene a partir de la cantidad de alimento que fue suministrada entre dos periodos consecutivos y de la diferencia en la biomasa en ese lapso de tiempo, así:

$$FCA = \frac{\text{Cantidad de alimento suministrado (Kg)}}{\text{Biomasa 2} - \text{Biomasa 1 (Kg)}}$$

Indica básicamente cuantos kilogramos de alimento fue necesario utilizar para obtener un kilogramo de truchas. Idealmente, este factor debe calcularse con los datos provenientes de cada muestreo, en un seguimiento que permite detectar tempranamente algún problema cuando el registro se aleje de lo esperado. Como las conversiones cambian a lo largo del ciclo, en tanto la eficiencia varía según el desarrollo del pez y el tipo de alimento, el factor también se debe integrar al final del proceso en un solo dato, el que permite evaluar el rendimiento global que se presentó

para un lote dado en el ciclo completo. En términos de peso vivo, los referentes del FCA que informan los fabricantes de concentrados en el país se encuentran en un rango de 1,2 a 1,5.

Se debe tener en cuenta que aun cuando se tenga una estricta cuantificación de las raciones y la efectividad en el suministro, en las diferencias entre lo esperado y lo observado intervienen múltiples factores como la calidad de la semilla que se adquiere, la calidad del agua y la estabilidad de los parámetros alrededor del promedio, el tipo de cultivo y las características del concentrado en fabricación y presentación y, muy especialmente, la práctica alimenticia.

Tipos de alimento.

En el país se dispone de tres referencias básicas: iniciación (~48 – 52% de Proteína Bruta), levante (~43 – 45% PB) y engorde (~40 % PB), este último con y sin pigmento (para los casos en los que el objetivo es obtener truchas sin coloración); bajo ciertas condiciones de requerimientos particulares algunas empresas ofrecen la opción de fabricar concentrados con formulaciones especiales. Cada referencia cambia en los contenidos globales de sus componentes

principales, como resultado de la incorporación diferencial de los diferentes ingredientes; en las etiquetas que deben estar presentes en cada empaque se muestra la composición básica, según la referencia

utilizada. En la tabla 3 se presentan los rangos, en porcentaje, entre los que se encuentra la composición general de los concentrados disponibles para la especie.

Tabla 3. Composición aproximada en concentrados para truchas

Componente	Contenido
Proteína	40% - 52%
Grasa	7% - 18%
Cenizas	< 10%
Humedad	< 12%
Fibra	< 3%

Fuente: elaborada a partir de datos de Leitz y Lewis (1976) y Gorgon *et al.* (1988)

Frecuencia y ajuste de tasas.

La frecuencia de alimentación se refiere al número de veces por día que se debe ofrecer el alimento a la población en cultivo. Normalmente se divide la cantidad de alimento calculado para cada día en varias raciones, en un número que está relacionado con el tamaño de los peces. Como regla, a menor

talla la frecuencia es mayor y el número de raciones recomendado también se indica en la mayoría de las tablas de alimentación. Por lo general, se puede asumir que, a partir de la cantidad calculada para unidad, mientras más dosis se ofrezcan los resultados serán mejores, pero, al menos, se deberán ofrecer las que se muestran en la tabla 4, de acuerdo a las diferentes tallas.

Tabla 4. Frecuencia de alimentación según la longitud de las truchas.

Longitud total (cm)	Número de comidas al día
2,5 – 5	10 – 16
5 – 10	4 a 6
10 – 15	3 a 4
> 15	3 a 4

Fuente: elaborada a partir de datos de Leitz y Lewis (1976) y Gorgon *et al.* (1988)

Algunos productores calculan la cantidad a ofrecer en un lapso de 7 días pero agrupan el suministro total en seis, con lo que un día a la semana no hay suministro, en un esquema que no genera efectos negativos sobre el desempeño de las truchas y permite disminuir costos asociados a mano de obra. Los horarios de suministro normalmente se ajustan a las jornadas de trabajo, pudiendo variar según cada sitio, siendo importante sostener un cumplimiento regular, de forma que los peces se acondicionen a la situación favorable de un ritmo de alimentación constante.

La forma en la que se distribuye el alimento depende directamente del manejo, el tipo de explotación y la edad de los peces. Se considera que la alimentación manual es por mucho el mejor método de suministro, en tanto el operador controla su distribución, la que debe ser uniforme por toda la unidad, y le permite mantener una observación directa sobre los peces en cultivo y su comportamiento; aún en los casos en los que se disponen alimentadores de demanda o temporizados se establece que, de forma periódica, algunas raciones se ofrezcan manualmente (Fig. 1).

Siempre se debe promover el que la totalidad de los peces tengan una oportunidad similar para acceder al concentrado; una distribución incompleta por la superficie de la unidad o una ración que no se entrega

en un tiempo razonable, no garantizan que todos accedan a la cantidad requerida, lo que se reflejará en un incremento de la dispersión de tallas al interior del lote.



Figura 1. Suministro manual de alimento en una jaula. Fuente: Oscar Murillo G.

El apetito de los peces tampoco se mantiene constante y, por diversas causas, puede variar incluso dentro del ciclo diario, por lo que el suministro estricto de una cantidad fija por ración no necesariamente se ajusta a este comportamiento; hoy día, el concepto de alimentación inteligente, basado en diferentes opciones técnicas, cobra relevancia, pues se trata de minimizar todo desperdicio, por las consecuencias tanto de tipo económico como ambiental. Hay un conjunto de opciones disponibles, pero se trata de técnicas y equipamientos aún en desarrollo; una revisión sobre el estado de avance en este aspecto de la práctica alimenticia y sus posibilidades se puede encontrar en MacMillan *et al.* (2003). Esa valoración inmediata a la hora del suministro es otra de las ventajas asociadas a la alimentación manual; en ocasiones, más que el pesaje por cada ración, se acostumbra a disponer del total que corresponde diariamente a la unidad, pero cada una de las raciones se ofrece con base en lo que los peces reciban, en un ajuste normalizado al grado de ingesta que se presente en un momento determinado.

Dado el crecimiento mismo de las truchas, con el constante incremento de la biomasa que esto implica, la cantidad calculada para suministrar entra en un desfase progresivo; es decir que, en términos reales, se ingresa en una situación de subalimentación

gradual, por lo que el reajuste no debe extenderse en el tiempo y, mientras más frecuentemente sea realizado, más calibrada estará la ración verdaderamente requerida. La cantidad de alimento debe ser entonces periódicamente redefinida, preferiblemente para periodos inferiores a los 15 días por lo que, al menos dentro de este lapso, se deberían programar muestreos para control de desarrollo y ajuste de la alimentación. Cuando se dispone de curvas de crecimiento confiables, es factible proyectar incrementos en talla para periodos menores y realizar los ajustes de la ración basados en estos teóricos de desarrollo; la confirmación se efectuará de todas maneras con base en los datos reales obtenidos en los muestreos.

Almacenamiento.

Varios problemas con el alimento se encuentran asociados a malas prácticas de manejo y almacenamiento. Se trata de productos que, precisamente por las características de los ingredientes, son delicados, por lo que deben proveerse condiciones de protección; una bodega seca, libre de temperaturas altas y humedad, evita la oxidación de grasas y la proliferación de hongos y bacterias. Debe contar con pisos y paredes impermeables, con suficiente espacio para una adecuada ventilación y buena iluminación,

sin que esté expuesta a radiación solar directa. Es recomendable una alta rotación de los inventarios, en tanto el almacenaje por períodos cortos evita la pérdida de nutrientes siendo, en consecuencia, pertinente la adquisición de baches de fabricación reciente, por lo que la revisión y registro, en formatos de ingreso y control de inventarios, del número de lote y su fecha de vencimiento son una rutina obligada; se trata de datos necesarios en caso de tener que reportar algún problema o inconformidad ante la casa productora o el distribuidor.

Entre las repercusiones más graves de un almacenamiento inadecuado está la proliferación de hongos, las que se presentan con humedades superiores al 70%. Los sacos de alimento deben distribuirse sobre estibas de madera o plástico, sin contacto directo con el piso. Entre estibas debe haber separación, el área de almacenamiento debe mantenerse completamente aseada y el uso de guantes y recipientes en buen estado y limpieza son normas que debe mantener el personal encargado. Normalmente se debe contar con planes de fumigación y la ubicación de trampas, pues es factible la presencia de insectos y roedores en estas áreas

Selección

La clasificación de los peces es un procedimiento de manejo que debe ser considerado como necesario y periódico, especialmente en aquellos sistemas de tipo intensivo. La selección conduce a incrementar la homogeneidad en las tallas dentro del lote, equilibra la competencia entre los individuos y genera que, con las raciones calculadas, se presente una mayor eficiencia en la utilización del alimento. Cuando las diferencias de tamaño son apreciables y no se efectúa clasificación, se presentará una dispersión creciente que puede ser medida a través de los datos obtenidos en los muestreos; el indicador utilizado para estimar la dispersión es el Coeficiente de Variación (CV), que se expresa en porcentaje y se calcula como:

$$CV = \frac{\text{Desviación estándar} \cdot 100}{\text{promedio de la variable}}$$

Idealmente es más práctico calcular el CV sobre la variable de longitud total, pues es más estable; con base en esta se puede establecer que lotes con un CV < 8% muestran un nivel de homogeneidad aceptable y proceder con una selección será necesario cuando el CV sea superior al 10%. Cuando se utiliza el peso, el que depende de tejidos blandos y es muy sensible a condiciones de manejo general, los valores del CV son sustancialmente superiores y de difícil interpretación; se trata de una medida de talla que,

adicionalmente, muestra una alta variabilidad entre individuos.

Sobre el número de veces que es necesario aplicar el procedimiento de selección existen opiniones diversas pero, en general y según el comportamiento de cada lote, la experiencia muestra la necesidad de entre tres y cinco clasificaciones dentro del ciclo de producción y, normalmente, la última se realiza en momentos previos a la cosecha, con el fin de ajustar las tallas de mercado; durante el ciclo, es común que se efectúe el manejo en consonancia con la planeación de los traslados.

No obstante y en tanto se trata de un procedimiento en el cual los peces se someten a unas fuertes condiciones de estrés, con posibilidad de pérdidas, se debe proceder cuando sea realmente necesario, para lo cual el monitoreo del coeficiente de variación es una aproximación conveniente, útil y de fácil cálculo con los mismos datos que se obtienen en el momento de los muestreos.

Programa de producción

Independientemente del sistema de cultivo, un programa de producción involucra todas las actividades que se refieren al manejo de los insumos necesarios (alevinos, alimentos, materiales, entre otros) para sostener la operación en un periodo de tiempo determinado, de forma que se disponga de la cantidad del producto deseado, en las tallas y frecuencias que el mercado impone. Los resultados esperados se proyectan con base en supuestos que definen el comportamiento de las truchas en el sitio, es decir que se tiene que establecer una línea de referencia que permita valorar permanentemente cada lote que ingresa, permitiendo un seguimiento del proceso en conjunto (Jover *et al.*, 2003).

Para que un programa tenga suficiente ajuste entre lo que se espera y lo que se presenta, ciertos postulados deben considerarse como básicos:

- Calidad de la semilla. En tanto se trata de la materia prima del proceso, es clave que esta cumpla con ciertos requisitos, los que deben ser promovidos si hay la posibilidad de autoabastecimiento o deberán ser exigidos al proveedor. Se debe tener seguridad sobre las características del centro de procedencia, en términos de buenas prácticas, especialmente en lo que se refiere a históricos de sanidad y, al menos, debe disponerse de información suficiente en los casos en los que ha habido necesidad de aplicar tratamientos específicos. La talla de inicio es un factor al que debe darse especial atención; toda diferencia tendrá efectos sobre

los tiempos proyectados para cosecha y cambios en la programación de uso de la infraestructura. Aún con la talla promedio cumplida, el criterio de uniformidad es tal vez uno de los parámetros de calidad más relevantes. Es natural que exista certeza de suministro constante a lo largo del ciclo productivo, por lo que el proveedor se convierte en parte fundamental del proceso y con el que se debe mantener comunicación constante.

- Periodo de cultivo. El tiempo desde el ingreso hasta que se realiza la cosecha es una función del mercado objetivo establecido y es clave para precisar la relación de ciclos-año y la forma de rotación de las unidades. En condiciones de manejo convenientemente ajustadas, la extracción mensual se acerca al 30 - 35% de la biomasa existente.

- La adquisición y el ingreso en las cantidades necesarias del alimento balanceado debe atenderse con suficiente rigor. La subalimentación es siempre más costosa que la sobrealimentación. Toda dispersión del lote respecto a los crecimientos esperados genera importantes traumatismos en la producción, en términos de retraso en las cosechas programadas, incumplimiento en la distribución, uso de infraestructura, variación en el ingreso de nuevos lotes, reducción en la condición corporal de los peces, desfase en la composición de los grupos de biomasa, entre otros.

- Como ya se ha expuesto, la predicción del crecimiento de los peces resulta imprescindible para una planeación técnicamente soportada de uso de concentrados, con tipos y cantidades requeridos para cada momento del ciclo productivo. Además, la determinación de la curva de crecimiento bajo las condiciones del sitio es fundamental para el diseño de las instalaciones (establecimiento de lotes, momento de máxima biomasa y determinación de número de unidades), para la planificación de la granja (organización de movimientos, clasificaciones y proyección de ventas). Modelos confiables y ajustados permiten una gestión de la alimentación que puede llegar incluso a ser calibrada de forma diaria, en el mejor acercamiento posible a la relación entre el desarrollo y la tasa de suministro (Jover, 2000).

interpretación de datos obtenidos con periodicidad y rigor son, si se quiere, los principales instrumentos técnicos que permitirán consolidar una operación exitosa.

La proyección de desarrollo es el primer paso y esta se fundamenta, cómo ya se mencionó, en la construcción de las curvas de crecimiento para el sitio en cuestión. En vista de la importancia que esta determinación tiene, se han desarrollado diferentes modelos que tratan de establecer los patrones de crecimiento para la especie bajo diferentes condiciones, algunos con más precisión y de cálculo más sofisticado que otros y en los que los datos que se registran para su construcción son diversos (Iwama y Tautz, 1981; Cho y Bureau, 1998; Wang, 2006). De una forma práctica y rápida, para las primeras aproximaciones se puede hacer uso de los estimados máximos de crecimiento que establece Klontz (1991). Debe tenerse en cuenta que: a) se trata de valores que se basan únicamente en la temperatura y suponen que esta es estable en el sitio, sin mayor variación alrededor del promedio, b) constituyen, por tanto, la máxima expresión de crecimiento posible, c) aunque la curva de crecimiento en longitud tiene una tendencia lineal, hay diferencias según la etapa, por lo que la tasa de crecimiento descrita debe ser considerada para un ciclo completo, y d) los trabajos de selección genética dirigidos a mejorar el desempeño en cultivo se manifiestan en variaciones de los estimados. Aun así, son valores útiles que, naturalmente, se irán precisando una vez se disponga de datos obtenidos a partir de lotes criados directamente en la explotación, bajo la influencia del amplio conjunto de variables que condicionan el crecimiento en cada sitio particular (Tabla 5).

Monitoreo del cultivo

En procesos de carácter intensivo o superintensivo, como son los que caracterizan el cultivo de truchas, y en los que, por definición, se manejan elevadas cantidades de peces, la recopilación, registro e

Tabla 5. Tasa de crecimiento diario en longitud para trucha arcoíris (variedad Kamloops) en diferentes temperaturas

Temperatura promedio (°C)	Tasa de crecimiento (mm día ⁻¹)
9	0,641
10	0,746
11	0,851
12	0,956
13	1,06
14	1,165
15	1,27
16	1,165
17	1,06
18	0,956
19	0,851
20	0,746

Fuente: Klontz (1991)

Establecida, o aproximada, la curva de crecimiento en longitud, peso o, idealmente, ambas, los muestreos de rutina permitirán confrontar el comportamiento de cada lote respecto al patrón determinado. Además de la comparación, la utilidad principal de este levantamiento de datos radica en la detección temprana de desviaciones que pudiesen ser evidencia de problemas específicos, lo que permite la adopción de correctivos inmediatos. Patologías, exceso de carga, prácticas inadecuadas de alimentación, variaciones significativas en la calidad del agua, calidad de la semilla, calidad del concentrado, son apenas algunas de las variables que pueden causar modificaciones a lo que se establece como un promedio normal para la finca.

El seguimiento en peso a partir de muestreos es una práctica habitual en todas las granjas, en tanto es la base para los cálculos y ajuste de las raciones; no obstante, disponer simultáneamente de datos de longitud sobre los mismos ejemplares deriva en la obtención de una mayor cantidad de información útil. En efecto, a partir de registros de longitud total y peso, se pueden calcular los siguientes indicadores:

- Factor de Condición (K). Se trata de un parámetro que ofrece una aproximación cuantitativa sobre el estado general de los peces, partiendo de la base de que para una longitud dada, las truchas deben tener un peso determinado. Variaciones sobre la condición pueden ser evidencia de estados de sub o sobre alimentación. Se calcula fácilmente con la fórmula $K = (\text{Peso}/\text{longitud total}^3) * 100$; en truchas, en los rangos de 2 a 500 gramos, este factor se debe encontrar entre 1 y 1,3. Suponiendo condiciones normales de cultivo y peces sanos, cuando K es inferior a 1 básicamente está indicando que el individuo no tiene el peso que le correspondería teóricamente a su longitud; consecuentemente, valores mayores están representando peces con peso superior al normal, lo que no necesariamente se debe asociar a una mayor masa muscular, posiblemente con un mayor porcentaje de grasa visceral. Son manifestaciones comúnmente asociadas a un mal cálculo de la ración, a deficientes prácticas de alimentación o, incluso, problemas relacionados con la calidad del concentrado.

La interpretación del factor se basa en la ajustada relación que se presenta para las truchas entre la longitud total y el peso; es decir que, dentro de un estrecho rango, es posible predecir el peso que debe tener un ejemplar de una longitud dada y viceversa. En la literatura se encuentran tablas con esta correspondencia que, con variaciones

menores entre unas y otras, se pueden utilizar para evaluar el estado de los peces en cualquier momento. En la tabla 6 se presentan datos de esta relación (Klontz, 1991), ajustados según la ecuación siguiente:

$$\text{Peso (g)} = 0,008 * \text{Longitud total (cm)}^{3,1289}$$

Tabla 6. Relación peso - longitud total y Factor de Condición (K) para trucha arcoíris en el rango de 5 a 40 cm.

Longitud total (cm)	Peso (g)	K
5	1,2	0,984
7,5	4,4	1,037
10	10,8	1,076
12,5	21,6	1,108
15	38,3	1,134
17,5	62,0	1,157
20	94,2	1,177
22,5	136,1	1,195
25	189,3	1,211
27,5	255,0	1,226
30	334,9	1,240
32,5	430,2	1,253
35	542,4	1,265
37,5	673,1	1,276
40	823,7	1,287

Fuente: elaborada a partir de datos de Klontz (1991) y Cho y Bureau (1998).

- Coeficiente de Variación (CV). Es un valor que refleja el grado de homogeneidad que tiene un lote en una variable; en grupos homogéneos el manejo se facilita en términos de proyección de cosechas, y el alimento es usado más eficientemente, en tanto existe un equilibrio competitivo entre los peces. De preferencia se calcula con el promedio de la longitud total y cuando el CV es inferior al 8% se tiene un lote con un nivel de homogeneidad aceptable; en los casos en los que supera el 10% lo conveniente es adelantar procedimientos de selección.

- Incremento en longitud. Entre dos periodos

consecutivos permite calcular el crecimiento diario en longitud total; las tallas máximas y mínimas presentes pueden ser también determinadas; algunos autores estiman que, en el caso de truchas, una diferencia del 30% es el máximo aceptable entre los peces de mayor y menor longitud.

- Incremento en peso. Al igual que el anterior ofrece tanto el nivel de ganancia diaria de peso como, con base en la cantidad de alimento suministrada entre los periodos, la conversión alimenticia en ese intervalo. Con el peso medio se obtiene la biomasa presente (número de peces *

peso promedio), lo que a su vez permite determinar la carga en la unidad (kg m^{-3}) y establecer momentos de cosecha o traslados cuando se estén alcanzando los máximos establecidos según la etapa de cultivo.

- Factor de Conversión Alimenticia (FCA). Es un parámetro de evaluación constante, dado el efecto que tiene del rubro de alimento en la estructura de costos, por lo que su monitoreo y control requieren rigurosidad. En tanto las formulaciones y los ingredientes cambian según la firma productora, es claro que también pueden presentarse diferencias en el factor dependiendo del tipo de alimento utilizado; en cada caso debe solicitarse información sobre la conversión que se estima puede lograrse con el concentrado. La valoración costo/beneficio que surge de los resultados obtenidos con una marca dada es una decisión que compete a cada producción. En general, en las casas productoras de concentrados en el país se informa que sus productos ofrecen conversiones que van desde 1,2 hasta 1,5 en peso vivo.

La frecuencia con la que deben ser efectuados los muestreos sobre los lotes tiene importancia práctica. Por lo general, realizarlos de forma quincenal resulta conveniente, pues permite detectar a tiempo cualquier variación al respecto de lo que se espera en términos de crecimiento y aplicar correctivos cuando sea el caso. No obstante, al ser una labor que demanda tiempo y mano de obra, es claro que en explotaciones de alto nivel de producción esta frecuencia puede no ser factible; al menos un muestreo mensual en cada lote debe considerarse como el mínimo aceptable.

- Inventario productivo o de biomasa. Especialmente en sistemas intensivos tienden a presentarse diferencias entre el número de peces que se supone debe estar presente y el que en realidad existe; se considera que es normal cuando tal variación no excede del 5% en uno u otro sentido. Como de la cantidad de peces depende el cálculo de la ración a suministrar, el control sobre las cargas y la proyección de las cosechas, diferencias mayores pueden afectar significativamente los estimados operativos. Es claro que como en estos sistemas no procede el recuento permanente de los peces, la lógica indica que la precisión dependerá de la exactitud en el número de ingreso y del control sobre los registros de pérdidas debidas a mortalidad y a conteos directos que se facilitan cuando se efectúan selecciones o traslados. Es natural que las pérdidas por predación o fugas sean de difícil

determinación; por tanto, las rejillas en las salidas, en el caso de estanques, o las mallas, en el caso de las jaulas, deben encontrarse en perfecto estado. De un inventario actualizado y confiable derivan la estimación del incremento en la biomasa por lote para un periodo determinado, los cálculos de la ración y la conversión alimenticia, el control sobre la densidad presente en la unidad de cultivo y el seguimiento sobre los costos de producción.

La representatividad del muestreo es clave pues de ella depende la confiabilidad de los datos. Aunque intervienen varios factores, la cantidad de peces en la muestra es uno de los condicionantes principales. En realidad el número mínimo de muestra se debería calcular para cada caso particular con base en muestreos piloto, por lo que no existe un número estándar aplicable a todas las situaciones. Por lo general los aproximados que se utilizan en las explotaciones es que el muestreo implica tomas de datos sobre el 2.5 al 5% de la población presente, lo que no es necesariamente cierto y puede significar un número excesivo de peces y como regla básica se tiene que mientras sea mayor la dispersión en tallas será también mayor el número de muestra requerido para disponer de promedios reales; una descripción a métodos de muestreo en estanques se puede encontrar en Klontz (1991) y Jover *et al.* (2003).

Como se aprecia de lo anterior, es claro que los postulados técnicos de manejo de los peces solamente pueden ser monitoreados con un adecuado plan de toma, registro e interpretación de datos. El proceso de producción debe entonces ser continuo y eficientemente valorado y esto solamente se alcanza cuando se dispone de registros; cualquier falla en una evaluación, bien por falta de información o bien porque la disponible es deficiente, tendrá implicaciones tanto más graves cuanto mayor sea el nivel de las producciones. Cada explotación deberá contar, en consecuencia, con un paquete de formatos diseñados para consignación continua de datos, todos referidos a las diferentes etapas o variables que hacen parte del plan de monitoreo establecido para cada caso.

Sanidad y bioseguridad

La sanidad es un conjunto de procedimientos que integran la prevención, tratamientos y control de cuadros patológicos, pero que están ligados a dos aspectos fundamentales, la calidad del agua y el estado nutricional del pez. La observación directa de los peces, el monitoreo sobre la mortalidad, el consumo de alimento diario y la medición de parámetros ambientales son las aproximaciones iniciales que permiten interpretar cualquier situación que se pueda

estar presentando.

La bioseguridad es el agregado de prácticas de manejo que van encaminadas a reducir la entrada y transmisión de agente patógenos y sus vectores en las jaulas. Las medidas de bioseguridad están diseñadas para prevenir y garantizar la sanidad animal, el bienestar y los rendimientos zootécnicos de los peces. Como medidas de prevención dentro de un plan básico de bioseguridad se pueden enumerar:

- No superar las densidades que el sistema permite
- Control sobre la calidad del alimento que se suministra
- Evitar o minimizar la posibilidad de contaminación cruzada entre lotes
- La extracción constante y la disposición adecuada de la mortalidad
- Evitar el ingreso de fauna que pueda actuar como vector de enfermedades
- Asegurar la procedencia y calidad de la semilla
- Plan de limpieza y desinfección de la infraestructura y equipos de trabajo
- Restricción de ingreso a las instalaciones
- Monitoreo constante de parámetros físico-químicos y biológicos
- Evaluación periódica de patógenos en los peces

Producción de semilla

Independientemente del sistema de cultivo utilizado para adelantar las etapas posteriores de cultivo, el primer paso en el esquema de producción consiste en la obtención de los alevinos que darán inicio al proceso. Dados sus requerimientos técnicos y de manejo, además de las condiciones que son óptimas para esta fase particular es, si se quiere, una parte de la truchicultura que se ubica en otro plano de especialización, pues se implementan procedimientos que difieren de los que se aplican para la obtención de peces de consumo.

Actualmente en el país, casi la totalidad de los alevinos que se distribuyen provienen de ovas que son importadas y, salvo pocos casos, no se encuentran fincas en las que se adelante un manejo integrado y

completo de la reproducción de truchas, por lo que la disponibilidad de la denominada semilla nacional puede considerarse marginal y sin peso relevante sobre la oferta total de alevinos de la especie.

La logística en las operaciones de importación por parte de las empresas distribuidoras nacionales se tiene estandarizada y es eficiente, por lo que es posible disponer de ovas de forma semanal durante la mayor parte del año. Con total certificación en aspectos sanitarios, actualmente se trabaja con material que proviene de una sola empresa, posicionada a nivel mundial en la producción y distribución de ovas de la especie. Los estrictos condicionantes que se imponen por las autoridades nacionales en términos de sanidad son una garantía para evitar el ingreso de graves patologías; es claro y debe ser enfatizado que material proveniente de sitios que no cuenten con las correspondientes certificaciones es un serio factor de riesgo que puede comprometer el futuro de la industria truchícola nacional*.

Bajo el esquema de importación, el proceso de producción de alevinos comienza realmente desde la etapa de ova embrionada. En este estado el progreso de formación embrionaria es de aproximadamente 2/3 partes del periodo total que tarda la incubación; es decir que desde la fertilización hasta el embrionamiento (lo que se denomina como fase de ova verde), el proceso ha sido adelantado en el lugar de origen. Se trata entonces de continuar con la incubación por el periodo que resta y hasta que la eclosión ocurre. Como referente y suponiendo que se mantienen en temperaturas entre los 9 y los 12°C (rango considerado óptimo), el tiempo que transcurre desde el ingreso de las ovas hasta que la eclosión de las larvas se considera totalmente finalizada es normalmente de 7 – 12 días (Bromage y Cumaranatunga, 1988).

Las ovas son transportadas en contenedores en los que se debe mantener una temperatura inferior a los 4°C durante el tiempo desde que son empacadas hasta que llegan al país y son distribuidas a los diferentes sitios; las ovas son ubicadas en bandejas de poliestireno expandido superpuestas, en algunas de las cuales se ubica el hielo que mantiene baja la temperatura y las condiciones de humedad necesarias. Cuando, por cualquier circunstancia, se ha dado pérdida de hielo en el transporte, con el consecuente incremento de la temperatura en el contenedor, se tiene una eclosión prematura que puede originar mortalidades significativas; en estos casos el reporte al proveedor debe ser inmediato y con la trazabilidad que se sigue en cada despacho se pueden verificar problemas

*Las ovas que ingresan al país vienen certificadas de origen como libres de 6 patógenos virales, 4 de tipo bacteriano y 3 parásitos. Los distribuidores autorizados en Colombia envían copia del correspondiente certificado con cada entrega

en el transporte y, de ser el caso, proceder con la correspondiente reposición.

El primer paso en el momento del ingreso consiste en adelantar un protocolo de aclimatación, mediante el cual se incrementa suave y progresivamente la temperatura, desde la que tienen las ovas hasta que se alcanza aquella en la que serán finalmente incubadas. Una tasa de incremento apropiada está en el rango de 1 a 2°C por hora; para el efecto se dispone de agua previamente enfriada, con la que se bañan continuamente las ovas, manejando la temperatura de forma que el agua de los baños se vaya elevando a la tasa mencionada. Algunos productores instalan sistemas sencillos, con pequeñas bombas, en las que la recirculación permite un baño continuo y controlado sobre el material.

Siempre existe una carga bacteriana presente en el corión de las ovas, por lo que la desinfección puede ser un procedimiento conveniente en fincas, aun cuando en el sitio de origen se aplica al menos 48 horas antes del embarque. Para este tratamiento existen varias opciones que pueden ser consultadas en De Swaef *et al.* (2016); pero, por la facilidad de manejo y eficacia, es común utilizar soluciones yodadas, las que se preparan siguiendo las recomendaciones que vienen con el producto. En la preparación se alcanza una concentración final de 100 ppm de yodo activo, en la que se sumerge las ovas durante 10 minutos. El agua de tratamiento no debe ser vertida a los cauces y, siguiendo procedimientos de bioseguridad, los recipientes de transporte de las ovas deberán ser retirados de las instalaciones o destruidos.

Una vez se ha alcanzado el equilibrio térmico y se ha realizado la desinfección, se procede a ubicar las ovas en el sistema de incubación. En los formatos de remisión de las ovas, los distribuidores entregan información del lote que incluye la fecha de desove, el número de ovas por mililitro (el que permite calcular previamente el número de bandejas a utilizar), y el dato de Unidades Térmicas Acumuladas (UTA - que es equivalente a grados día), el que indica la edad del lote. Por lo general se encuentra entre 220 – 245 UTA y teniendo en cuenta que la eclosión se da alrededor de las 300 - 320 UTA, con el dato promedio de la temperatura en el sitio de incubación es posible aproximar la fecha de la eclosión. Esta no es simultánea y entre el momento en el que se presentan las primeras larvas y finaliza completamente transcurren unos 30 - 50 grados día o UTA (Bromage *et al.*, 1992).

El uso de incubadoras verticales de flujo descendente es tal vez el más extendido en el país, siendo su principal ventaja la de combinar una elevada capacidad con un

relativamente bajo uso de agua. Se trata de unidades que son flexibles en el tamaño de la estructura, pudiendo sostener desde 4 hasta 16 bandejas superpuestas. Cada bandeja tiene una capacidad máxima de 1 litro de ovas, lo que normalmente representa entre 8000 y 12000 unidades en cada una, cantidad que dependerá del diámetro promedio en el lote que ingresa; es decir que una incubadora estándar con 8 bandejas representa un potencial de hasta 80000 – 100000 ovas en un momento dado. Permiten igualmente mantener las larvas hasta que alcanzan pigmentación, siempre y cuando el flujo se incremente. Además del costo, entre sus desventajas está el que para la observación de ovas o larvas necesariamente se debe remover cada bandeja, las fugas, que pueden ser importantes cuando los componentes no encajan adecuadamente, y el movimiento que implica su traslado a las canaletas para la etapa de reabsorción.

En sistemas de flujo horizontal, que se adelanta a lo largo de canaletas que normalmente tienen una longitud de 3 a 5 metros y una anchura de unos 40 - 50 cm, se ubican bastidores suspendidos; estos pueden ser artesanales, fabricados como marcos de madera con fondo de malla rígido, o estructuras con componentes plásticos o metálicos que se adquieren comercialmente y que están específicamente diseñadas para ovas de trucha. Requieren de mayor espacio y flujo, pero facilitan las labores de manejo, especialmente las de retiro de la mortalidad; dependiendo del tipo de bastidor y su construcción, la perforación de la malla sobre la cual se soportan las ovas puede permitir también que la larva recién eclosionada caiga directamente a la canaleta, lo que evita realizar los traslados que son necesarios cuando se utilizan incubadoras verticales.

La incubación en sistemas tipo botella (incubadoras Mc Donald) también es utilizada, pero se debe tener presente un flujo bien regulado, de tal forma que permita que la masa de ovas permanezca suspendida en la mitad inferior del recipiente; cuando se presenta la eclosión, el diseño de estas incubadoras también promueve el que las larvas caigan directamente a las canaletas donde ocurrirá la etapa de reabsorción del saco vitelino.

El recinto donde se ubican las incubadoras y las canaletas para la etapa de reabsorción deberá permanecer en condiciones de oscuridad, aislada de luz solar directa. Los sedimentos son particularmente perjudiciales durante estas primeras etapas, en cuanto pueden acumularse sobre las ovas y limitar el normal intercambio de oxígeno entre estas y el medio; también pueden afectar las larvas que permanecen directamente en contacto con el fondo de las unidades. Aunque está en función de la concentración y

características del material sedimentable en la fuente, siempre resulta recomendable ubicar infraestructura previa para sedimentación, o equipos que permitan una efectiva filtración. Cuando la temperatura del sitio no se encuentra dentro de límites seguros, productores con objetivos de autoabastecimiento de semilla instalan unidades de enfriamiento (chiller), las que cuentan con termostatos que regulan con precisión los rangos de variación, en un sistema de recirculación que normalmente se sostiene en operación solamente durante las etapas de incubación y larvicultura.

En la incubación, la rutina de manejo implica la limpieza de las unidades y el retiro y registro de la mortalidad, la cual, en condiciones de temperatura y calidad dentro de rangos óptimos, suele ser reducida; es natural que se observe un leve incremento de las pérdidas durante el periodo de la eclosión. Cuando

esta ha finalizado, comienza el periodo de reabsorción de vesícula, en el que básicamente la larva completa el desarrollo de estructuras a partir de las reservas disponibles en el saco vitelino. Es una fase relativamente estable, cuyo avance se evidencia en la reducción del volumen del saco, hasta que el alevino comienza con los primeros movimientos de natación y en capacidad de consumir alimento exógeno. En esta etapa, además de la mortalidad, es necesario el retiro y registro de las larvas que evidencian algún tipo de deformidad y, en cuanto estas son irreversibles, serán inviábiles: las malformaciones óseas de varios tipos son anomalías que aparecen con cierta frecuencia y, aunque la causa puede ser difícil de precisar en tanto pueden ser debidas a factores genéticos, ambientales o su interacción, es conveniente informar al proveedor cuando se presenten anomalías inusualmente altas en un lote dado (Fig. 2).



Figura 2. Canaletas utilizadas para reabsorción y alevinaje temprano
Fuente: Rafael Rosado P.

La composición y origen de los planteles de reproductores, además de la aplicación de prácticas de manejo especial durante incubación, permite que los productores dispongan de ovas durante todo el año, pero con variables tamaños en el ciclo. Es decir que, durante ciertas épocas, es normal recibir ovas de diámetro pequeño, las que darán origen a larvas con una longitud inicial baja. Si bien su potencial de crecimiento es equivalente a las provenientes de ovas de talla superior, requieren de una mayor atención inicial, especialmente en las prácticas de alimentación. La etapa de reabsorción tiende a ser de menor duración y, si bien no se trata de embriones con calidad genética diferente, es necesario ajustar procedimientos de cuidado y manejo.

El inicio del suministro del concentrado es un

momento clave, pues si se extiende en el tiempo las larvas comienzan a utilizar sus propias reservas para suplir la falta de alimento y, dependiendo del retraso, pueden alcanzar un punto de no retorno; es decir que la malnutrición inicial no será superada, lo que se manifestará posteriormente en picos de mortalidad. En términos estrictos se recomienda iniciar con el acostumbaramiento al alimento cuando un 50 - 75% del volumen del saco ha sido consumido; pero, en términos prácticos, el momento en el que un 10% del lote empieza con movimientos de natación es una buena aproximación para ofrecer el concentrado. Algunos productores que disponen de infraestructura suficiente van retirando los peces que comienzan a nadar a otras unidades; es una práctica conveniente pues evita que restos de alimento no consumido se depositen sobre las larvas que aún no completan la

etapa de reabsorción.

Para el inicio de la alimentación ninguna casa comercial de concentrados en el país fabrica actualmente un tamaño de grano adecuado para suministro en estas primeras etapas; con las referencias de iniciación disponibles (grano de 1,5 mm), solo es posible alimentar a partir de tallas de más de 2 g (~6,5 cm), por lo que para tamaños menores es necesario moler y ofrecer la harina cernida o el grano partido, lo que es un inconveniente operativo aún no resuelto. Se trata de concentrados de alto contenido proteico (~ 50%), cuyo uso se recomienda hasta peces de al menos unos 12 – 15 cm (<30 g). En el acostumbramiento y las primeras etapas de crecimiento la frecuencia de alimentación es otro factor relevante; idealmente, en el inicio se ofrecerán raciones cada 30 – 45 min (como mínimo 12 – 16 veces al día), lo que tendrá efectos favorables en el crecimiento y la uniformidad de los lotes. Precisamente por la necesidad de moler y suministrar la harina, esta se suministra a saciedad, generando que la cantidad desperdiciada sea alta y la producción de sedimentos elevada, lo que obliga a intensificar las labores de limpieza.

Con los lotes recibiendo alimento normalmente, el esquema operativo de producción implica traslados a unidades de cultivo de mayor volumen conforme la biomasa se incrementa, en las que continua el desarrollo hasta que se alcanzan tamaños de distribución comercial. La demanda de una talla mínima de alevinos está en relación con las preferencias, la planeación de los ciclos y, en buena medida, con el sistema y las condiciones del sitio de cultivo del productor de carne. Por lo general se considera que ya son comerciales alevinos a partir de los 5 - 6 cm (o mayores de 1,5 g).

Cómo ya fue anotado, en un comportamiento que es normal en una población de truchas en cultivo, la dispersión en los lotes se incrementa conforme avanza el tiempo; si no se interviene mediante selección por tallas el rango se irá ampliando, lo que traerá como consecuencia que se aumente la cantidad de peces en el segmento que incluye los considerados como colas. Si bien la clasificación es un procedimiento que demanda tiempo y mano de obra, se debe considerar como relevante para mantener estándares de calidad que después se verán reflejados en el desempeño durante las etapas de levante y engorde. Lotes homogéneos de alevinos son un criterio de calidad que valora el productor de truchas de consumo. En la práctica, la dispersión comienza a ser notoria en longitudes de alrededor de 4 - 5 cm, momento en el que conviene efectuar las primeras selecciones; los grupos de menor talla, mantenidos en unidades de cultivo separadas y

en donde se equilibra la competencia, pueden llegar a mostrar tasas de crecimiento que en ocasiones les permite alcanzar los tamaños de las fracciones mayores, por lo que el procedimiento también tiene efectos favorables para el productor de semilla. En las etapas posteriores de levante y engorde la clasificación es un procedimiento obligado, pero cuya periodicidad depende de varios factores, entre los que se cuentan los planes de producción, los rangos de las tallas de cosecha, el comportamiento y calidad del mismo lote, entre otros, por lo que partir de grupos de alevinos lo más homogéneos posible será una característica de calidad que se reflejará a lo largo del cultivo.

Las canaletas para manejo de alevinos en sus primeras etapas suelen ser rectangulares y se construyen en diferentes materiales; son de bajo volumen, alto recambio y las cargas cambian según se adelanta el crecimiento de los peces (Figs. 3 y 4).



Figura 3. Canaletas en fibra de vidrio para etapa de alevinaje
Fuente: Rafael Rosado P.



Figura 4. Canales rectangulares para etapa de juveniles
Fuente: Rafael Rosado P.

Cultivo de trucha en estanques

Define los procedimientos de cultivo que se desarrollan en unidades ubicadas sobre terreno firme, que pueden ser de diferente tipo, adelantados desde el momento en el que ingresan alevinos-juveniles hasta que se obtienen peces con tallas comerciales para consumo. Es un proceso cuya duración estará condicionada por varios factores como la calidad del agua, con la temperatura como factor condicionante, el oxígeno disponible como factor limitante, la talla de los peces con las que se inicia el ciclo y la talla final objetivo del mercado, entre otros.

Unidades de cultivo

La diversidad de unidades de cultivo que se utiliza en truchas, en términos de forma, tamaño, material y distribución general es amplia, todas con sus propias particularidades, ventajas y desventajas, y cuya utilización dependerá de cada contexto. En términos prácticos, sea cual sea el tipo de estanque, el requisito mínimo a cumplir en su interior es el de promover un flujo uniforme en toda la unidad, evitando la formación de zonas muertas o de bajo intercambio que, al no ser utilizadas por los peces, generan una sobrecarga no contemplada hacia las zonas restantes. El flujo homogéneo, en el sentido de entrada-salida, permite una uniforme distribución de parámetros e igualmente el arrastre de material sedimentado hasta puntos en los que se retira de la unidad, bien por lavado o bien por extracción controlada.

A corto plazo, los de menor costo son los contruidos en tierra pero, además de una menor capacidad de carga, requieren mayores actividades de manejo y mantenimiento, por lo que su uso no es frecuente cuando se trata de explotaciones que alcanzan cierto nivel productivo. Como en su interior se dan procesos de degradación de la materia orgánica, tanto la que ingresa de forma natural por la fuente como la que se origina por el cultivo mismo, la disponibilidad de oxígeno disuelto para los peces y los estándares de calidad general del agua se reducen; los procesos erosivos debidos al flujo constante disminuyen su vida útil y, salvo que se adelanten adecuaciones, no todos los terrenos tienen la capacidad para que se instalen este tipo de unidades.

La construcción en material (ladrillo, concreto, o revestidos) se traduce en unidades de mayor vida útil, con facilidad para las labores de mantenimiento y con la posibilidad de sostener mejores condiciones tanto de tipo sanitario como para el manejo mismo sobre los peces; con un diseño hidráulico adecuado la renovación es eficiente y, por tanto, la utilización

del volumen disponible es total. En las explotaciones de carácter intensivo son los más frecuentes pues, aunque más costosos, su instalación se puede hacer en casi cualquier terreno y tienen menores gastos de mantenimiento. Hoy día, la portabilidad de las unidades circulares prefabricadas en geomembrana, la variedad de tamaños disponibles, la rápida instalación y potencial de manejo de altas cargas hacen que su implementación sea cada vez más corriente (Figs 5 y 6).

En lo que se refiere a la forma, pueden ser cuadrados, rectangulares, cuadrirculares o circulares, todos con diferentes dinámicas de flujo en su interior. Se recomienda acercarse a una relación 10:1 en longitud:anchura en estanques rectangulares, los que normalmente se encuentran en el rango de 10 a 30 metros de longitud; con entradas en forma de cascada que abarquen la mayor parte del ancho del estanque la lámina y el flujo son más uniformes a lo largo del canal. En la salida se debe facilitar la evacuación del agua de fondo, con lo que se promueve la eliminación de los sólidos que son arrastrados hacia la parte final de la unidad.

Los tanques cuadrirculares y circulares muestran esquemas de flujo interno que generan uniformidad tanto en la distribución del oxígeno disuelto como de los metabolitos tóxicos producidos por la misma actividad de las truchas, sin que se formen los gradientes que son normales en unidades rectangulares. Así, la utilización del espacio es total y las cargas calculadas se mantienen en todo el volumen. Con la variación en la forma en la que se coloca el ingreso del agua es también posible modificar patrones de velocidad, ajustando la más conveniente al tamaño de los peces presentes; el ejercicio continuo, controlando que la velocidad no exceda ciertos límites, es un factor que favorece el crecimiento de las truchas. Como estructuras accesorias, en tanques circulares se puede instalar una salida lateral (tipo Cornell) por la que se evacúa más del 90% del caudal que ingresa, atendiendo a que en la porción superior de la columna se encuentra el agua con menos carga de material suspendido, lo que es particularmente favorable en sistemas que reutilizan el agua; el porcentaje restante sale por la salida central convencional y con la instalación de dispositivos que permiten la separación del material particulado (heces y alimento no consumido) es posible la colecta en un recipiente externo, su eliminación del efluente y su eventual tratamiento para otro tipo de uso. Estos dispositivos son indispensables cuando se pretende trabajar con recirculación, favorables en reuso y, en cualquiera que sea el caso, minimizan el impacto por sólidos y, en consecuencia, tendrán efectos de reducción sobre los parámetros de vertimiento, los

que son la base sobre la que se calculan las tasas retributivas por parte de las corporaciones autónomas regionales; son, por tanto, una inversión que será amortizada en el tiempo a través de una disminución en los pagos anuales que corresponden a esta tasa. Las



Figura 5. Batería de estanques rectangulares para engorde
Fuente: Rafael Rosado P.

El reuso del agua es normal, aunque el número de veces en la que esto es factible es variable. El obvio deterioro progresivo en la calidad es lo que restringe el paso entre unidades. Los principales factores limitantes son la disminución en el oxígeno disponible, la presencia de sólidos y la mayor concentración de productos de excreción y metabolitos tóxicos (amoníaco y nitritos). Cuando se realizan los cálculos de carga de forma que el oxígeno en la salida tenga un mínimo de 5 a 5,5 mg litro, se trata entonces de lograr incrementar (con cualquier mecanismo) algún nivel de recuperación, el que será la base para el cálculo de las cargas posibles en las siguientes unidades, de acuerdo a la tasa respiratoria de las truchas.

Como referente, en el segundo reuso las cargas posibles se reducen en un 75% y, a su vez, en el tercero se puede planear un 75% de la carga en el segundo. Estas son aproximaciones que deben ajustarse técnicamente con base en la recuperación lograda en la concentración de oxígeno entre baterías; el aporte de agua fresca para mezcla con la ya utilizada mejora los parámetros y, en consecuencia, las cargas. Resuelta o mejorada la cuestión del oxígeno, el siguiente factor a solucionar es el que corresponde a las crecientes concentraciones de amoníaco entre unidades, lo que se logra mediante la tasa de recambio en tanto un flujo demasiado reducido puede resultar en una deficiente remoción de los productos de desecho metabólico. Las tasas de recambio por lo general se encuentran entre 1 y 3 veces por hora. En el interior de la unidad, sea cual sea su forma, la velocidad del agua (en cm s^{-1}) no debe

principales desventajas de los tanques circulares están dadas en que las labores de manejo sobre las truchas se dificultan en comparación con otros tipos y que se requiere de mayor de terreno para sostener un mismo volumen de agua para el cultivo.



Figura 6. Batería de estanques circulares en geomembrana
Fuente: Rafael Rosado P.

superar entre 1 y 1,5 veces la longitud de las truchas.

Capacidad de carga

En términos estrictos, la capacidad de carga es la máxima producción de peces que es posible sostener, siempre y cuando se mantengan ciertos parámetros ambientales dentro de límites que puedan considerarse aceptables desde el punto de vista del impacto sobre la calidad del agua y otras características del entorno en el que se ubica una producción dada. Por lo general se precisa como el peso de los peces que se puede mantener con referencia a una unidad de flujo de agua, como kilogramos por litro/minuto; cuando no se involucra el flujo y se define como unidad de biomasa (g, kg), o número de peces, por unidad de volumen (l , m^3) se habla de densidad de carga (Ellis *et al.*, 2001; Conte, 2004).

Sea cual sea el acercamiento, la carga se determinará, principal pero no exclusivamente, a través de la tasa de consumo de oxígeno de las truchas y del cálculo de la producción de productos de desecho como amonio y CO_2 , en un aprovechamiento que, además de permitir la operación sustentable del sitio, hoy día considera elementos que permitan mantener condiciones de bienestar para los organismos. Es evidente que, conforme aumenta la intensidad del sistema se genera, por definición, una presión en el ambiente que se aleja de la normalidad y, en el fondo, se trata de no sobrepasar tanto los rangos vitales de la especie como los que se consideren dentro de niveles

tolerables para el sistema.

Si bien la variación se establece sobre múltiples factores, los principales limitantes dentro de una unidad de cultivo de truchas están en, su orden, el oxígeno disuelto, compuestos nitrogenados (amoníaco y nitritos), sólidos en suspensión y dióxido de carbono. Al final se busca que, bajo un conjunto de condiciones, las truchas se acerquen a su real potencial de desempeño; la densidad de siembra, la dieta, la práctica de alimentación y los procedimientos de manejo tienen efectos sobre la tolerancia y las respuestas al estrés, con derivados sobre la salud y en conductas como la agresión. Se deduce que todo mecanismo para minimizar situaciones de estrés y evitar interacciones agresivas son vitales. Exceder las cargas en truchas tiene efectos sobre el crecimiento, la reducción en la ingestión de comida y la eficiencia en la conversión y la condición, erosión de aletas, daños en las branquias, reducción en la capacidad inmune y alteraciones en el comportamiento de nado. Aspectos como agresión y la degradación de la calidad del medio son variables según las condiciones, pero es sobre esta última, y su relación con la densidad, que las referencias experimentales indican la mayor afectación al bienestar de las truchas en cultivo (Ellis *et al.*, 2002).

Se han descrito diversas aproximaciones para estimar las posibilidades de producción de un sitio dado, unas más técnicas que otras, pero que en ciertos casos permiten cálculos preliminares. Partiendo de que con una calidad de agua ideal, por ejemplo, se ha establecido que por cada tonelada año que se pretende producir, se requieren de 3 a 5 litros segundo en la fuente; así mismo, que por cada litro minuto que ingresa, es factible sostener 1 kilogramo de biomasa, o que con 0,7- 0,8 kg O₂ por día se pueden mantener 100 kg de trucha nadando. En la literatura disponible las tablas que indican potenciales cantidades de peces a mantener se determinan con base en uno u otro criterio, lo que significa que parten de la base de que siempre se cumplen ciertos supuestos, por lo que son

aproximaciones que deben ser tomadas con cautela y no como base definitiva para el diseño operativo final de una explotación. Los esquemas a establecer deberán partir de un cálculo preciso, fundamentado principalmente en las necesidades de oxígeno de los peces, las cuales son variables y dependerán de la cantidad y talla en cada estadio, y de la temperatura del agua; la producción de compuestos nitrogenados, en total relación con la cantidad de alimento que ingresa al sistema es el segundo componente que debe ser estimado para regular su eliminación.

La planeación de un proyecto truchícola estará condicionada a la cantidad de agua utilizable, es decir aquella legalmente amparada por una concesión. A partir de esta disponibilidad, el primer factor que determina el potencial nivel productivo está dado en la concentración de oxígeno disuelto en la fuente. Entendiendo que el oxígeno disponible está definido como la diferencia entre el oxígeno en el ingreso y un mínimo seguro, que para truchas se recomienda en alrededor de 5 – 5,5 mg por litro, es evidente que mientras mayor sea la concentración de oxígeno, mayores serán también las posibilidades de producción. Esta diferencia (oxígeno disponible, dado en miligramos por litro), multiplicada por el caudal a utilizar (en litros por segundo) arroja la cantidad de oxígeno (en miligramos de oxígeno segundo o kilogramos de oxígeno hora) con la que realmente se cuenta para efectos de producción.

Los requerimientos respiratorios de las truchas se tienen determinados para rangos de talla y se encuentran disponibles en la literatura. Se define como Tasa Metabólica y puede estar determinada como la necesidad respiratoria para un individuo de un tamaño dado (Tasa Metabólica Normal, en miligramos de oxígeno por hora) o por una unidad de biomasa (Tasa Metabólica Específica, en miligramos de oxígeno por kilogramo por hora). La Tabla 7 resume estas necesidades en el rango de los 11°C a los 17°C, en diferentes tallas.

Tabla 7. Requerimientos de oxígeno para trucha arco iris a diferentes temperaturas y en tallas variables (Tasa Metabólica Específica, en miligramos de oxígeno consumido por hora, por kilogramo de biomasa)

Longitud total (cm)	Peso (g)	Peces / kg	Temperatura			
			11 °C	13 °C	15 °C	17 °C
7,8	5	200	283,94	337,22	400,46	475,58
13,1	25	40	220,48	261,84	310,95	369,28
16,3	50	20	197,72	234,81	278,85	331,16
18,6	75	13,3	185,51	220,31	261,64	310,71
20,4	100	10	177,31	210,57	250,07	296,98
21,9	125	8	171,20	203,31	241,45	286,74
23,2	150	6,7	166,36	197,57	234,63	278,64
24,4	175	5,7	162,38	192,84	229,01	271,97
25,4	200	5	159,01	188,83	224,25	266,32
26,4	225	4,4	156,09	185,37	220,14	261,43
27,3	250	4	153,53	182,32	216,52	257,14
28,2	275	3,6	151,24	179,61	213,30	253,32
29,0	300	3,3	149,19	177,17	210,41	249,87
29,7	325	3,1	147,32	174,96	207,78	246,74
30,4	350	2,9	145,62	172,93	205,37	243,32
31,1	375	2,7	144,05	171,07	203,16	241,26
31,8	400	2,5	142,59	169,34	201,10	238,83
32,4	425	2,4	141,24	167,73	199,20	236,56
33,0	450	2,2	139,98	166,23	197,37	234,45

Fuente: elaborada a partir de datos de Klontz (1991)

En lo que se refiere al flujo de entrada, este debe ser calculado con base en el caudal que se requiere para aportar el oxígeno que se ha sido determinado a partir de las necesidades de las truchas que se pretenden sostener en la unidad de cultivo. Aun asegurando que el aporte de oxígeno es suficiente, se debe tener en cuenta que el flujo debe igualmente permitir que se evacuen eficientemente los productos de desecho que se producen, sin que a su vez se supere una velocidad crítica del agua; convencionalmente se asume que el recambio mínimo debe ser de 1 a 1,5 veces por hora, con un rango normal entre 2 y 4 veces por hora.

Entendiendo que un ejercicio continuo es favorable, se estima no obstante que la velocidad, en centímetros por segundo, en el interior de la unidad no debe superar entre 1 y 1,5 veces la longitud de las truchas presentes.

En un cuerpo de agua, dentro de los límites que impone el medio mismo tanto por la calidad general del recurso como por su dinámica de corrientes y la fase de desarrollo de los peces, se trata aprovechar al máximo la capacidad potencial que ofrece cada jaula. Si bien en bajas densidades los peces pueden manifestar una mayor tasa de desarrollo, hay una

obvia subutilización de la unidad. Por otra parte, sobrecargas pueden deteriorar las condiciones al interior del recinto en concentración de oxígeno y acumulación de metabolitos, lo que genera estrés y reducción en el crecimiento. En estos casos, el flujo lo determina básicamente la dirección y magnitud de las corrientes, lo que finalmente condicionará la tasa

de renovación y el cálculo de las cargas posibles; bajo condiciones promedio de calidad de aguas, en la Tabla 8 se presentan referentes de manejo que pueden servir como aproximación útil para ajuste de cargas en jaulas, de acuerdo a la experiencia nacional que se tiene en estos sistemas.

Tabla 8. Cargas aproximadas de trucha utilizadas en jaulas flotantes en Colombia

Fase	Peso (g)	Dimensiones (m)	Densidad (Kg m ⁻³)
Alevinaje	5 – 12	5 x 5 x 3	5
Superalevinaje	12 – 40	5 x 5 x 3	10
Dedinaje	40 – 150	6 x 6 x 4	15
Engorde	150 – Cosecha	6 x 6 x 5	18 - 20

Fuente: registros propios Trout Co. SAS

Cultivo de trucha en jaulas flotantes

En general, la truchicultura en cuerpos de agua, bien sea naturales (lagos, lagunas) o artificiales (embalses, reservorios), mediante el uso de jaulas flotantes se constituye en un sistema de producción viable, adaptable, de tecnología sencilla y que, dado que su costo relativo es menor en comparación con las instalaciones en tierra, permite obtener interesantes resultados económicos en términos de costos de producción. En esencia, una jaula es una estructura flotante, aislada por todos los lados con paños de red o rejillas de diferentes materiales, con flujo de agua libre y donde se ubican los peces en cultivo. En estos sistemas suelen presentarse mejores índices productivos que en estanques, con la opción de programar mayores pesos de cosecha con menor tiempo de residencia en el cultivo, al igual que índices de mortalidad inferiores.

En comparación con otros sistemas de producción, entre las fortalezas que tiene el cultivo en jaulas se tienen:

- Posibilidad de aprovechar al máximo recursos acuáticos, siendo compatible con otros tipos de uso y, en condiciones de manejo seguro, sin que se afecten las poblaciones naturales
- Contribuye a reducir la presión sobre los recursos de tierras
- Posibilidad de compartir espacios de cultivo dentro de una misma masa de agua

- Facilidad de movilización de los sistemas
- Intensificación de la producción de peces en términos de densidad de trabajo y tasas de crecimiento
- Mejora de indicadores de conversión alimenticia
- Facilidad de control sobre competidores y depredadores
- Se reduce la manipulación de los peces, con extracción fácil y flexible
- Se facilita el transporte de peces vivos
- Las inversiones iniciales son menores en relación con otros sistemas
- Entre las limitaciones se deben considerar:
 - Su implementación requiere áreas relativamente rotegadas; son difíciles de implementar en zonas con elevada agitación
 - Es necesario contar con infraestructura de apoyo en tierra
 - La dinámica de corrientes debe ser tal que permita un intercambio adecuado en el interior de las jaulas, con el fin de remover metabolitos y mantener los niveles de oxígeno disuelto
 - La rapidez con que se obstruyen los laterales de las jaulas obliga a mayores labores de

mantenimiento

- Son posibles las pérdidas de alimento a través de las mallas laterales
- Puede darse relación con poblaciones naturales de peces, en términos de ingreso al sistema o como fuente potencial de enfermedades o parásitos
- Demandan especiales esquemas de seguridad para control de hurtos
- Pueden requerir de un mayor costo de mano de obra, por actividades de manipulación, siembra, alimentación y mantenimiento
- Por coexistencia y cercanía con otros cultivos, los aspectos de bioseguridad adquieren una connotación relevante

Selección del lugar de cultivo

En general, el país cuenta con una experiencia acumulada en el cultivo de peces en jaulas o jaulones flotantes; los factores principales que deberán analizarse antes de planear la instalación de un proyecto de este tipo se puntualizan en los siguientes factores:

a) Análisis del sitio

Es prioritario y fundamental disponer de estudios hidrológicos, de forma que se cuente con registros y evaluaciones con históricos que contemplen, idealmente, al menos un periodo de 5 años; se deben considerar el comportamiento y la dinámica general del sistema, en términos de normalidad o tendencias en diferentes épocas. Los datos proporcionarán información destinada a garantizar la cantidad, calidad y disponibilidad de agua en el tiempo, en aspectos de precipitaciones, evaporación, vientos, corrientes y, en general, las condiciones medias dentro de las zonas en donde se proyecte instalar las jaulas flotantes. Es importante precisar periodos de fluctuación en los niveles y será la época de los mínimos la que determine el nivel más bajo que se puede tener durante un ciclo anual en el sector considerado.

Lo anterior es primordial para precisar el sitio definitivo de instalación, lo que tendrá efectos en los cálculos de materiales requeridos, especialmente para aspectos de anclaje. Se considera que una profundidad de localización recomendable es que tenga, como mínimo, el doble de la profundidad que tendrán las mallas; los fondos quebrados facilitan la fijación mediante lastrado y anclaje, por lo que la batimetría

del sector es una evaluación que también debe abordarse. Datos de velocidad, dirección y frecuencia de las corrientes, además de los vientos predominantes en el cuerpo de agua, permiten definir la orientación y la forma de amarre para las estructuras flotantes. La velocidad de la corriente tendrá influencia en la renovación, el nivel de oxígeno y, por tanto, será una de las variables que permitirán determinar la capacidad de carga para el sistema.

Con respecto a las condiciones del terreno adyacente que deberá ser habilitado, es necesario:

- Disponer de zonas amplias y ligeramente planas, con la finalidad de facilitar los trabajos de montaje e instalación de los sistemas de cultivo, así como un área para manejo de animales, cosecha y operaciones de muelle.
- No debe estar cercana a plantas industriales, servicios de transporte, cultivos agrícolas intensivos, servicios de alcantarillado u otras fuentes potenciales de contaminación.

b) Evaluación del recurso hídrico

Sea cual sea el sistema, para el cultivo de truchas el abastecimiento de agua y las características de la fuente son factores determinantes en las posibilidades de éxito operativo. Además de la caracterización de parámetros de calidad que ya fue mencionada, en el caso de las jaulas es necesario tener en cuenta además que la superficie en concesión corresponda de forma suficiente tanto para la colocación de la infraestructura proyectada en una disposición que facilite un flujo máximo sobre las unidades e, idealmente, el que se habiliten posibles planes de expansión. La renovación de volumen de agua debe ser una constante durante todo el año y, al interior del cuerpo de agua, se deben evitar zonas cerradas en las que el recambio sea limitado. Las posibilidades de eutrofización se incrementan en cuerpos de agua de pequeña extensión (Beveridge, 2004; León, 2006).

c) Servicios anexos

Para que una explotación de truchas en jaulas peces resulte segura y rentable, entran en consideración una serie de elementos necesarios para complementar la operación, como:

- La existencia de infraestructura vial y servicios de transportes son aspectos clave dentro de la estructura de costos; accesos fáciles y rápidos desde y hacia el centro de cultivo son situaciones deseables.

- Mientras menor sea la distancia a los puntos de los que se obtiene la semilla, menores serán los riesgos asociados al transporte. Los costos del concentrado también varían en función de la ubicación del proveedor.
- La proximidad y facilidad de acceso tiene un peso relativo importante dentro de los costos que implica disponer de mano de obra calificada y no calificada.
- La adquisición de materiales e insumos es una necesidad permanente y la cercanía a centros poblados con capacidad de suministro es una facilidad operativa
- Redes de energía eléctrica y para abastecimiento de agua potable, además de comunicaciones eficientes son componentes de la mayor relevancia

Infraestructura

El sistema de cultivo en jaulas flotantes, que puede ser de tipo semi-intensivo e intensivo, se puede desarrollar con grandes ventajas a un costo que, en condiciones eficientes, es factible capitalizar en plazos razonablemente cortos. Las labores de instalación por lo general no representan complicaciones significativas y los procesos productivos se planifican para obtener productos en cantidad y frecuencias de forma equivalente a un cultivo en estanques.

Las dimensiones de las jaulas son variables, así como los materiales y la forma (cuadradas, rectangulares o hexagonales); la infraestructura básica consiste en un sistema de flotación, áreas de tránsito y manejo, como pasillos o muelles, además de los medios para un anclaje seguro. Los diferentes estadios que se mantienen implica el que se disponga de mallas con aberturas variables, adecuadas a la talla de los peces y que maximicen simultáneamente el flujo de agua y la evacuación de heces o alimento no consumido.

La jaula flotante

Se configura por un conjunto compuesto por estructuras semirrígidas o rígidas, apoyadas en un sistema de flotación, y que tienen como función sostener una bolsa o red, confeccionada de nylon y cerrada por fondo y lados, dentro de la cual se mantiene confinada una población de peces que se criará en un ambiente y bajo condiciones controladas; todo el sistema se encuentra anclado al fondo con temples y lastres. En algunos casos lleva una protección superior, tanto para evitar fugas en situaciones de fuerte oleaje como para el control de predadores. Cumpliendo este esquema básico, se pueden encontrar desde jaulas de tipo

artesanal, en las que la estructura que sostiene la red es de madera, o sistemas flotantes metálicos de cierta envergadura y más complejos, destinados a mantener mayores poblaciones en producción y, al mismo tiempo, facilitar y optimizar los manejos; los tipos de flotación serán diversos y adaptados a la escala de la estructura. Los componentes generales de un módulo típico se muestran en la figura 7.

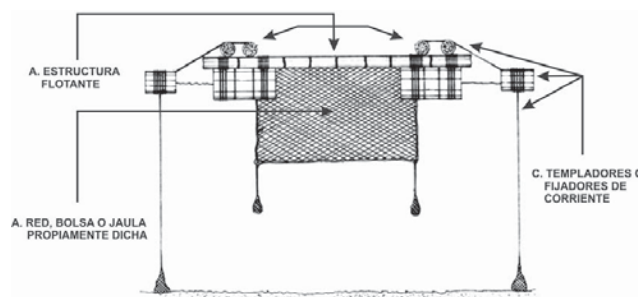


Figura 7. Estructura básica de una jaula para cultivo.

Fuente: Mendoza y Palomino (2007)

La estructura flotante rígida de uso más común en Colombia se construye en material de hierro, de diversa longitud, con uniones en sus extremos y fijados a canecas plásticas o metálicas (por lo general de 55 galones de capacidad); configuran un cuadrado que da forma y flotabilidad, a la que se sujeta la red que por lo general es fabricada en nylon.

La red o malla tiene como función limitar el espacio donde se encuentran confinados los peces en cultivo y con ojos de malla ajustados a los diferentes estadios de desarrollo; la abertura de las mallas permite el intercambio de agua entre el ambiente circundante y el interior de la jaula. El nylon es el material más utilizado en su fabricación y puede tener o no nudos. Aun cuando las que cuentan con nudos muestran una mayor durabilidad, las que no los llevan evitan posibles daños a los animales. En la malla se debe facilitar la ubicación de cargas o pesas que permiten mantener la forma y el volumen interno.

Con los templadores o lastres se mantiene la jaula fija en el sitio seleccionado, por lo que sus características estarán condicionadas a factores como la forma y dimensiones de las unidades, características del fondo, profundidad, fuerza de las corrientes, oleaje, empuje del viento y variación del nivel del agua. Normalmente los materiales utilizados para el conjunto son cabos de polipropileno de ½", medios de flotación (que pueden ser de poliestireno expandido, canecas plásticas o metálicas) y los sacos de lastre o pesos muertos; para éstos últimos se pueden usar recipientes plásticos rellenos con cemento y con aristas de hierro incrustado para facilitar el amarre de los templadores;

como referente, un peso muerto de 400 - 500 kg por jaula puede ser un estimado suficiente para una unidad promedio, si bien, dependiendo de las dimensiones de la misma, deberán considerarse pesos superiores.

Aspectos de diseño

Como la jaula propiamente dicha es el contenedor dentro del cual se confinan los peces, sus características deben, en primera instancia, permitir un intercambio eficaz de agua entre esta y el medio, lo que estará en función del volumen, la forma y el material que se utiliza. Suelen preferirse las jaulas tipo cubo ya que, bajo ciertas condiciones, las redes tipo bolsa son susceptibles a perder área y volumen útil por efectos de las corrientes, deformando la unidad y generando una sobreacumulación de peces en espacios más restringidos.

En el cultivo de truchas en jaulas o jaulones que se adelanta en el país es común encontrar unidades con dimensiones que van desde 6 x 6 x 3 m (volumen de 108 m³) hasta los 6 x 6 x 5 m (con un volumen de 180 m³). En condiciones de elevada transparencia y fuertes corrientes, que derivan en altos recambios, se pueden encontrar de dimensiones mayores.

La abertura de la malla está en relación directa con el tamaño del pez a mantener y los diferentes tipos se ajustan y utilizan según el desarrollo de las truchas en una etapa dada. Además de la talla, se tiene en cuenta el que se debe favorecer el intercambio de agua en el interior de las jaulas, entendiendo que, al mismo tiempo que se evita la pérdida por fugas, se logre maximizar la circulación del agua. Mientras menor sea el ojo de la malla, más exigentes son las labores de limpieza y mantenimiento por causa de la acumulación de algas, lo que limita no solo el flujo de ingreso, sino también la disponibilidad de oxígeno, lo que puede ser especialmente crítico en horas de la noche.

La protección superior en las jaulas es necesaria, particularmente cuando en las zonas hay presencia de aves predatorias; se evitan también las pérdidas en condiciones de fuerte oleaje y como protección complementaria contra posibles robos. Al menos, siempre es recomendable cubrir aquellas unidades en las que se mantienen los peces de menor talla. El espacio libre entre el agua y la plataforma tendrá una altura mínima de 50 cm.

En la instalación completa del sistema se contemplan los siguientes pasos:

- Preparación de las canecas de flotación: sobre

estas se debe proceder a un lavado - sellado (con aplicación de silicona o brea), con la finalidad de dar protección, durabilidad y seguridad. En algunos cultivos se rellenan con trozos de poliestireno o polietileno. En todo caso se debe garantizar hermeticidad, pues con las filtraciones los flotadores actúan como un lastre, colocando en riesgo la flotabilidad de la jaula.

- Amarres: se utiliza cabo de polipropileno de ¼", con unos 10 m para cada cruce; es factible unirlos mediante el uso de pernos o ganchos. La soldadura ofrece una elevada rigidez, pero crea resistencia a los oleajes y puede ser causa de fracturas de la estructura.

- Uniones: el sostenimiento de las canecas plásticas se hace con cabo de polipropileno de ¼"; por lo general en cada amarre se utilizan unos 20 m de cabo y cada cilindro lleva 2 amarres.

Fabricación de la red

La bolsa se confecciona con paños de fibra sintética de diferente número de hilo y de abertura de malla, de acuerdo con la talla de los peces a cultivar. Una bolsa presenta las siguientes partes:

- La red propiamente dicha, que conforma el cuerpo del recinto; como se anotó, la más recomendable es la tipo cubo

- La estructura de cabo de la red que tiene la finalidad de dar la firmeza necesaria; está conformada por los cabos vertical, horizontal y de piso. Se unen los lados vertical y horizontal de la bolsa con el cabo respectivo, y posteriormente con la sección que corresponde al piso.

- Los botanes son las cuerdas con las que se fijan las redes a la estructura flotante y llevan una gaza o nudo en el extremo que evita que se suelten y, por lo general, se utilizan de ½ ó ¾", los que permiten suficiente fortaleza para la unión entre la bolsa y la estructura rígida.

- La red o malla está unida por cabo de polipropileno de ¼" y cosida con hilo alquitranado.

En algunos casos se incorporan pesas en las esquinas para dar suficiente caída y asegurar que la forma y la capacidad se mantengan al evitar embolsamientos; por lo general son suficientes pesos entre 5 y 10 kg, según el tamaño de la unidad. Se debe permitir que los paños mantengan la máxima abertura en todos los lados y en la unión de paredes y piso, de forma que al

interior de la jaula se promueva el mayor recambio; se suele utilizar hilo alquitranado 18 doble y los cierres pared-pared y pared-piso deberán realizarse con nudos firmes que eviten deslizamientos entre el cabo y la bolsa.

La operación de instalación y anclaje se realiza desde embarcaciones que permitan adelantar los procedimientos con suficiente seguridad. Dentro de la zona, el sitio final será seleccionado teniendo en cuenta la profundidad, la dirección de vientos dominantes y los movimientos de la masa de agua; así, la estructura se localizará orientando la serie de

flotadores en el sentido de menor resistencia a la corriente del agua, según la dirección predominante del viento. Para fijar los anclajes se determina el peso necesario, de acuerdo al número de jaulas flotantes a instalar, el comportamiento de las corrientes y las condiciones climáticas del sector.

Finalmente, es importante ubicar a una distancia determinada un grupo de boyas entre el nudo de arranque de la jaula y la línea de fondeo, con la finalidad que los extremos de la estructura no se inclinen por el peso del lastre (Fig. 8).



Figura 8. Disposición de módulos de cultivo de truchas en el lago de Tota (Boyacá)

Fuente: Oscar Murillo G.

Infraestructura complementaria

Además de la estructura de producción, se requieren unos mínimos de apoyo para la ejecución normal de las labores de manejo, alimentación y cosecha. Al menos se debe contar con:

- Espacios protegidos para almacenamiento de alimentos, equipos e insumos
- Caseta de vigilancia
- Plataforma flotante o muelle para las labores de manejo, selección y limpieza de redes
- Embarcación, preferiblemente con motor fuera de borda

En resumen, los siguientes son aspectos recomendables para una instalación de este tipo:

- a. Las aberturas deben ser calculadas de forma que su ojo de malla sea 2 veces inferior a la altura máxima del espécimen más pequeño que se mantenga en cautiverio, de acuerdo con la fase de cultivo (alevinos, juveniles o adultos).
- b. Mantener entre la superficie del agua y el borde de las jaulas una franja de seguridad de mínimo 50 cm.
- c. Instalar sistemas de protección sobre las jaulas en todas las etapas del cultivo.
- d. Disponer de pasarelas o una plataforma flotante que permita realizar de manera segura

las actividades de manejo durante las faenas de siembra, limpieza, muestreo, selección y cosecha. Se deben establecer mecanismos que prevengan al máximo la posibilidad de fugas o pérdidas durante la manipulación.

e. Los sistemas de flotación de las jaulas y jaulones deben permanecer en perfecto estado. Igualmente, la revisión y el mantenimiento de cabos y anclajes garantiza la estabilidad de la estructura.

Proceso productivo

El proceso comienza con la adquisición de la semilla, cuya calidad debe ser comprobada y proveniente de un centro certificado como bioseguro; con el fin de confirmar que estén libres de cualquier patología o sintomatología, lo ideal es solicitar al proveedor que el lote sea sometido a una cuarentena previa a la remisión. Serán las condiciones iniciales del alevino las que garanticen su total adaptación al nuevo ambiente.

Para los sistemas de jaulas se prefiere planificar los ciclos partiendo de alevinos con el mayor peso disponible; esto permite una mejor adaptación inicial, con una menor escala de pérdidas, y se reduce el uso de alimentos de granulometría pequeña, cuyo suministro se dificulta por la incidencia de corrientes de agua o por vientos.

El estrés debido al desplazamiento debe ser minimizado y en el momento de la siembra deberán adelantarse procedimientos de aclimatación, cuando las temperaturas del agua del transporte y las del sistema difieran significativamente. Toda actividad que implique manipulación se efectuará preferiblemente 48 horas con posterioridad a la siembra.

Fases de producción.

En términos generales, la separación de las diferentes etapas de desarrollo en cultivo es una cuestión práctica que se relaciona con los límites de talla que se estipulan para cada una, el tipo de unidad en la que se hace la transición y, si se quiere, se acomoda igualmente a las diferentes referencias de alimento disponibles. Bajo esa perspectiva, no tienen mayor diferencia entre los sistemas de cultivo; no obstante, en jaulas se considera una adicional de superalevinaje (o dedinaje), en tanto se trata de peces con unas características de talla que se acomodan mejor al inicio del proceso en cuerpos de agua, además que posibilita el uso de redes con mayor ojo de malla, situación siempre favorable en estos sistemas (Tabla 9).

a. Alevinaje. Se considera en jaulas el periodo que va desde que los alevinos son sembrados hasta que alcanzan una talla de 10 cm, decir desde unos 5 g hasta 12 g, con una duración de 2 meses aproximadamente. Para la etapa se utilizan unidades de 5 x 5 x 3 m, con número de hilo 210/12 - 210/32, un ojo de malla de ¼" y con protección anti-pájaros. El alimento balanceado debe contener un alto tenor de proteína (48 – 50%), y se suministra a una tasa del 4 – 5% de la biomasa, distribuido en 5 a 7 raciones al día. La mortalidad estimada para la etapa es de un 2 - 3%.

b. Super alevinaje. Comprende tallas desde los 10 hasta los 15 cm, con pesos de 12 y 40 g respectivamente. Las jaulas tienen dimensiones similares a las de alevinaje, pero con un ojo de malla de ½". La duración de esta fase es también de unos 2 meses aproximadamente. Se utiliza un balanceado de 45 - 48% de proteína, a una tasa del 3 – 4 % de la biomasa, 5 veces al día. La diferencia con alevinaje es de tipo práctico, pues además de las redes con mayor abertura, las truchas reciben un tamaño de grano superior, es tal vez la talla ideal para dar inicio al proceso en jaulas. La mortalidad estimada en la fase es del 1%.

c. Levante. Esta etapa se adelanta hasta que los peces alcanzan una longitud de unos 23 cm en promedio (alrededor de 150 g). La dimensión de la jaula es de 6 x 6 m, con una profundidad de 3 ó 4 m; el número de hilo es 210/12 - 210/36 y paño de ¾". Este desarrollo tarda unos 2 meses y se suministra alimento con 45% de proteína, entre el 1.8 y 2.1% de la biomasa existente y distribuido en 4 raciones al día. La mortalidad esperada para esta fase es del 0.5%.

d. Engorde o ceba. En esta fase final las truchas se llevan hasta tamaño comercial, es decir de alrededor de 400 a 500 g de peso vivo, lo que tiene una duración de unos 3 meses aproximadamente. La máxima carga final que se utiliza en el país alcanza los 22 kg m⁻³. Se adelanta en unidades de 6 x 6 m con 4 ó 5 m de profundidad; en algunos casos pueden ser mayores y de forma octogonal, con número de hilo 210/12 - 210/36 y paño de 1" a 1 ½". El alimento balanceado debe contener alrededor del 40% de proteína y, de ser el caso, con pigmento; se suministra 3 veces al día, entre el 1,1 y el 1,6% de la biomasa existente.

Tabla 9. Características de las redes según la fase de producción

No. Hilo	Ojo de Red	Longitud total (cm)	Peso (g)	Etapas
210/12- 210/32	1/4"	5 – 10	< 5 - 12	Alevinaje
210/12- 210/32	1/2"	10 – 15	12 – 40	Super alevinaje
210/12 - 210/36	3/4"	15 – 23	30 – 150	Levante
210/12 - 210/36	1" - 1½"	23 – Cosecha	150 - Cosecha	Engorde

Fuente: adaptado de Beveridge (2004)

Cosecha.

Corresponde al final del proceso, al que se llega después de 7 - 9 meses, dependiendo de la temperatura media y de la talla proyectada para el sacrificio, con truchas que por lo general se encuentran en el rango de 400 - 500 g. Según la planeación productiva son frecuentes las cosechas parciales a partir del mes 7 de cultivo, en las que se retira un porcentaje de la población existente; con la reducción de la carga se manifiesta una mayor tasa de crecimiento en la fracción restante del lote. Para programar la cosecha es recomendable:

- Suspender la alimentación 48 horas antes del proceso con el fin de que se evacúe el tracto digestivo de los peces. Con el ayuno se tiene una aproximación mayor al peso real de los individuos y se disminuye la cantidad de material de desperdicio hacia los sistemas de tratamiento de agua en el proceso primario. Tiempos mayores de restricción alimenticia hacen que la pérdida de grasa intramuscular tenga efectos sobre la textura de la carne.

- Es fundamental evitar el maltrato de las truchas en el manejo previo para que no se pierdan escamas y se presente deterioro en la carne. La presencia de hematomas en el músculo puede ser factor de rechazo del producto, sobre todo en ciertas presentaciones; la muerte por asfixia, si bien es la más común, no es un procedimiento recomendable. Se debe comenzar con la insensibilización de las truchas, ubicándolas en tanques con agua-hielo a $< 4^{\circ}\text{C}$, después de lo cual se realiza un corte en el arco branquial, con lo que el pez se desangra; se finaliza entonces con el eviscerado y los cortes de presentación definitiva (Fig. 9).

- Idealmente, desde el momento mismo del sacrificio se debe comenzar con la cadena de frío, la que se conservará durante todo el proceso. Los peces se ubican finalmente en canastillas plásticas con hielo y perforaciones en la parte

inferior que permitan drenar el agua-hielo.

- En cada canastilla se acomodan truchas hasta un peso que no exceda 10 – 12 kg, cubriendo con capas alternadas de hielo picado o en escamas. Se logra una cadena de frío estable y evita la deshidratación del producto.



Figura 9. Producto final procesado

Fuente: Oscar Murillo G.

Referencias

- AUNAP (2014). Plan nacional para el desarrollo de la acuicultura sostenible en Colombia PlaNDAS. Bogotá, 86 p.
- Beveridge, M. (2004). Cage Aquaculture. Oxford, UK, Blackwell Publishing. 368 p.
- Bromage, N. y Cumaranatunga, R. (1988). Egg production in the rainbow trout. Rec. Adv. Aquacult., 3: 63-138.
- Bromage, N., Jones, J., Randall, C., Thrust, M., Davies, B., Springate, J., Duston, J. y Baker, G. (1992). Broodstock management, fecundity, egg quality and the timing of egg reproduction in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 100: 141-166.
- Cho, C.Y. y Bureau, D. (1998). Development of bioenergetic models and the Fish-PrFEQ software to estimate production, feeding ration and waste output in aquaculture. Aquat. Living Resour., 11(4): 199-210.
- Conte, F.S. (2004). Stress and the welfare of cultured fish. Applied Animal Behaviour Science, 86, 205–223
- De Swaef, E., Van den Broeck, W., Dierckens, K. y Decostere, A. (2016). Disinfection of teleost eggs: a review. Reviews in Aquaculture, 8, 321–341
- Ellis, T., North, B., Scott, A., Bromage, N., Porter, M. y Gadd, D. (2002). The relationship between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. J. Fish Biol., 61, 493–531.
- Ellis, T., Scott, A.P., Bromage, N., North, B. y Porter, M. (2001). What is stocking density? Trout News, CEFAS-DEFRA, Publication no. 32, 35–37.
- Espinal, C., Martínez, H. y González, F. (2005). La cadena de la piscicultura en Colombia – Una mirada global de su estructura y dinámica 1991 – 2005. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Observatorio de Agrocadenas Colombia. Bogotá, 43 p.
- FEDEACUA (2015). Plan de Negocios Sectorial de la Piscicultura de Colombia. Bogotá, 414 p.
- Gómez, H. (2014). Hacia la Sostenibilidad y Competitividad de la Acuicultura Colombiana. Programa de Transformación Productiva - Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Bogotá, 192 p.
- Gordon, M., Klotins, K.C., Campbell, V.M. y Cooper, M. (1988). Farmed salmon broodstock management. Victoria (BC), Canadá: Ministry of Environment, 125 p.
- Hortúa, N.H. (2013). Zonificación de la Acuicultura Nacional - Coordinación Nacional para la formulación del PlaNDAS. Bogotá, 80 p.
- Iwama, G. y Tautz, A. (1981). A simple growth model for salmonids in hatcheries. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 38: 649-656.
- Jover, M. (2000). Estimación del crecimiento, tasa de alimentación y producción de desechos en piscicultura mediante un modelo bioenergético. Revista AquaTIC 9, 11 p.
- Jover, M., Martínez, S., Tomás, A. y Pérez, L. (2003). Propuesta metodológica para el diseño de instalaciones piscícolas. Revista AquaTIC 19, 17-26. Recuperado de <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=p&c=168>

- Klontz, G. W. (1991). A Manual for Rainbow Trout Production on the Family-Owned Farm, Nelson & Sons, Inc, Murray, Utah.
- Leitritz, E. y Lewis, R.C. (1976). Trout and salmon culture (hatchery methods). Fish. Bull. 164. 197 p.
- León, J.N. (2006). Synopsis of salmon farming impacts and environmental management in Chile. Consultancy Technical Report. Valdivia, Chile, WWF Chile. 46 p.
- MADR – Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2018). Cifras sectoriales 2018, Dirección de Cadenas Pecuarias, Pesqueras y Acuícolas – Cadena de la Acuicultura. Bogotá, 23 p.
- MacMillan, J.R., Huddleston, T., Woolley, M. y Fothergill, K. (2003). Best management practice development to minimize environmental impact from large flow-through trout farms. Aquaculture, 226 (1–4): 91-99.
- Mendoza, B. y Palomino, A. (2007). Manual de cultivo de trucha arco iris en jaulas flotantes. FONDEPES – AECI – PADESPA. Lima (Perú), 123 p.
- Merino, M.C., Bonilla, S.P. y Bages, F. (2013). Diagnóstico del estado de la Acuicultura en Colombia. Autoridad Nacional de Pesca y Acuicultura (AUNAP). Bogotá, 160 p.
- Pillay, T.V.R. y Kutty, M.N. (2005). Aquaculture: Principles and Practices. Second edition. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, England. 624 p.
- Wang, Y. (2006). Model and software development for predicting fish growth in trout raceways. Thesis Master of Science in Chemical Engineering. West Virginia University. 117 p.

CAPÍTULO 9

EL CULTIVO DE LAS CACHAMAS BLANCA (*Piaractus brachypomus*) Y NEGRA (*Colossoma macropomum*)

RICARDO GONZÁLEZ ALARCÓN¹



Introducción

En Colombia se conocen como cachamas a las especies *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818) y *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) (Tabla 1), actualmente pertenecientes a la familia Serrasalminidae (Eschmeyer *et al.*, 2019), antes ubicadas en familia Characidae.

Originarias de las cuencas de los ríos Orinoco y Amazonas, se encuentran en aguas con temperaturas entre 23 °C y 30 °C, generalmente ácidas (pH<7.0) y de baja dureza (<30ppm); en ambiente natural son omnívoras, con tendencia a herbívoras frugívoras y buenas consumidoras de semillas (Arias y Vásquez, 1988 y Woynárovich y Anrooy, 2019).

Tabla 1. Relación de nombres comunes y científicos en Colombia y países vecinos

Nombre Científico	Nombre común	País
<i>Piaractus brachypomus</i>	Cachama, cachama blanca, paco	Colombia
	Pacu	Perú
	Pirapitinga	Brasil
	Morrocoto	Venezuela
<i>Colossoma macropomum</i>	Cherna, Cachama negra	Colombia
	Gamitana	Perú
	Tambaquí	Brasil
	Cachama	Venezuela

En la naturaleza, para su reproducción, dependen de los estímulos externos y desovan una vez por año en la época de lluvias, cuando los ríos presentan niveles en creciente; las larvas y alevinos aprovechan para su desarrollo la alta productividad natural (plancton) que se encuentra en todas las áreas recién inundadas.

Posteriormente los peces jóvenes se encuentran en las corrientes menores y áreas lagunares y los adultos, con tres y cuatro años de edad se distribuyen en los grandes ríos, por los cuales migran masivamente para realizar la maduración final y los desoves (Agudelo *et al.*, 2011a).

¹Biólogo Marino, gonzalez_r@hotmail.com

Luego de 40 años de haberse iniciado en Colombia la investigación en reproducción y cultivo de las cachamas (Merino, 1983), en el año 2019 se siguen cultivando en prácticamente todos los departamentos del país, excepto en San Andrés (González, 2000 y González, 2011), con un volumen de producción -sumando las dos especies- cercano a 23.000 toneladas por año, siendo la segunda producción íctica procedente de cultivo en el país, con el 21 % de la cosecha nacional piscícola estimada para 2017 en 120.230 toneladas (Cadena Nacional de Acuicultura-MADR, 2018).

La difusión de las dos especies se basa en su facilidad de cultivo y simplicidad de manejo, la poca exigencia en cuanto a aplicación de tecnología, su resistencia a bajas concentraciones de oxígeno, a enfermedades y parásitos, lo cual permite que los habitantes rurales, con bajo acceso a asistencia técnica, las cultiven ya sea para subsistencia, para comercio local o para mercadeo en volumen.

En Colombia, los productores de cachama se pueden caracterizar en dos niveles: la gran mayoría con cultivos muy pequeños, informales y un mercadeo local. Y cultivadores con áreas más amplias, que tienen estructura empresarial y comercialización más desarrollada; en estos últimos se generaliza que la mayor proporción de su producción es de tilapia y la cachama se tiene como especie secundaria, en policultivo. Se puede también afirmar que en Colombia no se han implementado megaproyectos de producción exclusiva de cachama.

Los productores clasificados dentro de acuicultura de recursos limitados AREL (FAO, 2010) para Colombia fueron estimados en 26304, y los clasificados pequeños estimados en 2817, para un total de 29121 productores (FAO, 2012); de estos, un 58% (16890) cultiva cachama y un 33% (5574) realiza policultivo con otra especie; para desarrollar los ciclos productivos un 99.95% utiliza estanques en tierra (González, 2011) y, unos pocos realizan el engorde en jaulas.

Por preferencia de los consumidores y aceptación del mercado a granel a nivel nacional se ha desarrollado más el trabajo de la cachama blanca, mientras que la cachama negra se produce puntualmente en regiones como Córdoba, Sucre, Santander, Boyacá, Putumayo y Amazonas.

Características de Las Especies

La cachama negra y la blanca se distinguen fácilmente por sus características externas, la más evidente es que al tacto la cachama negra da sensación de papel de lija (por poseer escamas ctenoideas), mientras que la cachama blanca es lisa (escamas cicloideas). Existen otras diferencias que bien vale la pena describir, ya que permiten conocerlas y apreciar mejor sus cualidades.

El adulto de cachama negra o cherna, presenta una coloración oscura en el dorso del cuerpo y laterales (Fig. 1); el abdomen es blanquecino con algunas manchas irregulares en el vientre y en la aleta caudal. Posee una aleta adiposa radiada y puede superar los 100 cm. de longitud (LT) y pesar más de 30 kg, con la relación (Fig. 3) $Wt=0,0001*LE^{2,61}$ en el sector colombiano del río Amazonas (Agudelo *et al.*, 2011 b); se registra que a los 10 años de edad alcanza una longitud estándar de 70 cm (Maldonado, 2004). Proporcionalmente, el hueso opercular y la cabeza son más anchos y largos que en la cachama blanca; posee entre 84 y 107 branquiespinas en el primer arco branquial lo que le permite tener una mayor capacidad de filtración de los microorganismos. Los juveniles de cachama negra presentan una coloración oscura, con ocelos, no tan intensa como el adulto y una tenue coloración naranja en la parte anterior del abdomen. Siguiendo las recomendaciones internacionales definidas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza-UICN se categoriza como Casi Amenazada (NT) (Mojica *et al.*, 2012).

El adulto de cachama blanca presenta una coloración grisácea con reflejos azulosos en el dorso y en los flancos; el abdomen es blanquecino con ligeras manchas anaranjadas (Fig. 2). La aleta adiposa es carnosa; los juveniles suelen tener un color más claro con tonalidades rojo intenso en la parte anterior del abdomen y en las aletas anal y caudal. Debido al poco número de branquiespinas que posee (37 en el primer arco branquial) presenta una baja capacidad de filtración. Alcanza una longitud de 85 centímetros y un peso máximo de 20 kg (Landines y Mojica, 2005), presentando (Fig. 4) la relación $Wt=0.0244*LE^{2,97}$ en el sector colombiano del río Guaviare (MADR-CCI, 2009). La especie no tiene categorización de riesgo UICN.



Figura 1. Ejemplar adulto de cachama negra



Figura 2. Ejemplar adulto de cachama blanca

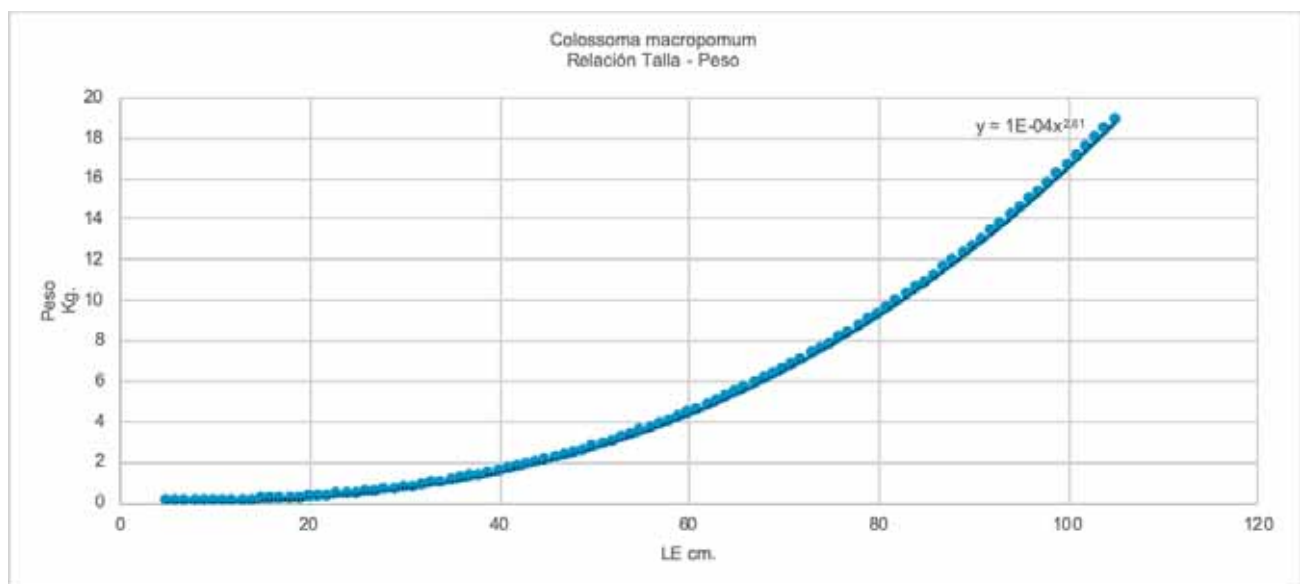


Figura 3. Relación Talla-peso para cachama negra en cultivo (Sarasty, 2018)

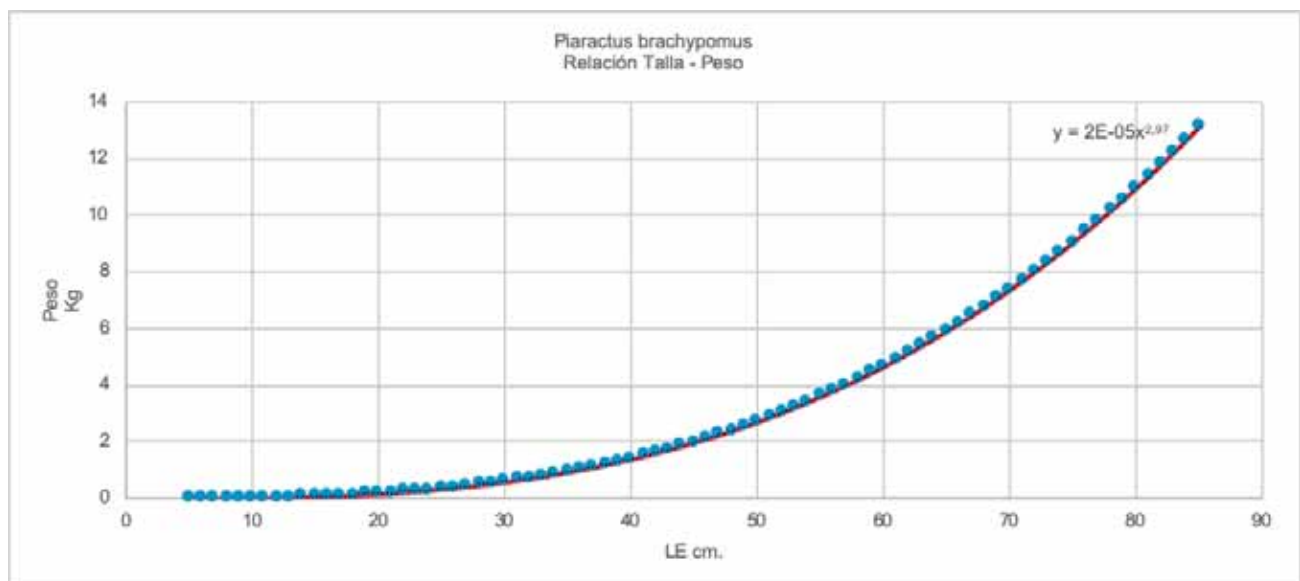


Figura 4. Relación Talla-peso para cachama blanca en cultivo (Hernández, 2018)

Reproducción

En los inicios de la cachamicultura -años 80- el principal cuello de botella para el desarrollo de esta actividad pecuaria era la baja disponibilidad de la semilla, existiendo alevinos sólo durante dos o tres meses del año y en cantidades reducidas (Merino, 1984). El desarrollo de la reproducción por inducción hormonal, como una industria privada especializada dentro del subsector conllevó el alcanzar un protocolo que actualmente (2019) permite disponer de alevinos de cachama blanca durante todos los 12 meses del año y de 6 a 8 meses para cachama negra (marzo-junio y octubre-diciembre).

Los alevinos se producen principalmente en el área del Pie de Monte de la cordillera oriental de Colombia, en los departamentos del Meta (cachama blanca y negra), Caquetá (cachama blanca) y Putumayo (cachama blanca); al norte del país, en el departamento de Córdoba (cachama blanca y negra). Existen granjas piscícolas pequeñas que producen alevinos de cachama

blanca en cantidades menores y por temporadas cortas en los departamentos de Antioquia, Santander, Valle y Casanare; de cachama negra en Amazonas. Gracias a mejoras generalizadas en el manejo y transporte de larvas, también se ha creado un comercio de cachama en este estado, desde los principales centros de reproducción hacia otros departamentos.

En Colombia, una ruta casi obligatoria a seguir es el avance en las mejoras de estas especies: desarrollar un programa de manejo genético apropiado, necesario para eliminación problemas comerciales como las espinas intercostales que dificultan el fileteo (Mesa-Granda y Botero Aguirre, 2007), o lograr mejores líneas con incremento en la velocidad de crecimiento o aumento en la proporción filete/carcaza.

Se muestran (Fig. 5 y 6) los códigos de barras de ADN (COI) de las dos cachamas (García-Dávila *et al.*, 2018), una herramienta para identificar las especies (Sotero, 2011):

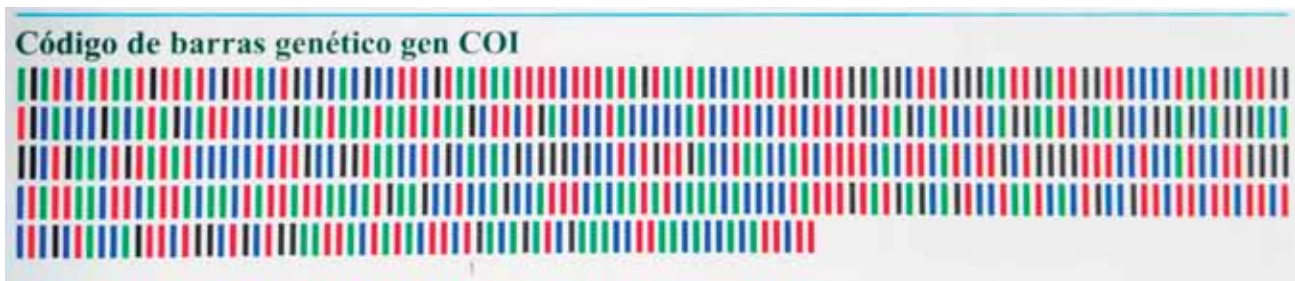


Figura 5. Barcode *Piaractus brachipomus*

Fuente: García –Dávila, 2018



Figura 6. Barcode *Colossoma macropomum*

Fuente: García –Dávila, 2018

Manejo de reproductores en cautiverio

Anteriormente los reproductores se obtenían del medio natural, en la temporada de plena maduración natural; ahora la mayoría de los centros de reproducción que se especializan en producir alevinos levantan sus propios pie de cría, refrescando periódicamente los planteles, con ejemplares salvajes.

Para llegar a ser ejemplares adultos aptos para reproducción, en la naturaleza los machos de las cachamas blancas tardan, 3 años y las hembras 4 años con peso de 3 y 4 kilos en adelante (Carolsfeld, 1989); sin embargo, se han reportado cachamas nacidas en cautiverio teniendo su primera maduración a 2 años para machos y 2,6 años para hembras.

Normalmente los ejemplares se mantienen en estanques de tierra a densidades bajas (Valencia y Puentes, 1989), facilitando de 7 a 12,5 m²/Kg de reproductor, siendo alimentados con concentrado comercial con contenido proteínico entre 25% y 32%. La tasa de alimentación varía entre el 1,5% y el 2,5% de la biomasa/día.

El manejo de padrotes dentro de un centro de reproducción se realiza por lotes (Pessoa y Nuñez, 1988), los cuales se deben agrupar de acuerdo con el estado de maduración: desovados, en maduración y maduros; además de este manejo operacional se deben hacer revisiones periódicas del estado de sanidad de los animales, para prevenir infestaciones graves por parásitos y cuando sea necesario realizar los tratamientos y traslados adecuados.

Las principales enfermedades reportadas en planteles de reproductores son parásitos típicos de la fauna acuática, tales como el Mixosporideo (*Henneguya* spp) cuya presencia ha sido confirmada en branquias y riñón pero aún falta definir cómo afectan la capacidad reproductiva de la Cachama además de su control y erradicación (Eslava, P. R. Com. Pers.); también se han reportado otros protozoarios parásitos como

Costia, *Trichodina*, *Piscinoodinium*, tremátodos como *Dactylogyru*s, gusanos intestinales (*Nemátoda*), cuyo control es relativamente sencillo y ya conocido; otro parásito, es el crustáceo conocido como gusano ancla *Lerne*a spp, pero los ataques de este parásito en las cachamas no han sido reportados con el dramatismo, ni la magnitud que tienen en Europa; sin embargo, en los padrotes de cachama, la *Lerne*a afecta negativamente su capacidad reproductiva por lo que es conveniente su control mediante método natural (desprendimiento del parásito), previniendo una infestación fuerte, especialmente en los arcos branquiales.

Selección de reproductores

El lote llamado “reproductores maduros” debe de ser revisado para monitorear el estado de madurez, tanto de hembras como de machos.

Para garantizar el éxito de la reproducción es necesario una adecuada selección de los reproductores a inducir, teniendo en cuenta las características externas de las hembras tales como abdomen abultado, blando, papila genital protuberante y enrojecida (Fig. 7) y en los machos obtención de semen mediante una leve presión abdominal.



Figura 7. Hembras maduras de cachama, en las cuales se observa el abdomen abultado



Figura 8. Hembra de cachama en sondeo

Se confirma la hembra a inducir, obteniendo una muestra de huevos por sondeo (canulación o cateterización) (Fig. 8) o por extracción lateral con jeringa (Harvey y Hoar, 1979), y se realiza aclaramiento con líquido de Serra.

En los huevos extraídos y aclarados se determina el aspecto general, color, tamaño, posición y forma del núcleo; los huevos deben ser de tamaño homogéneo (diámetro 0,9 – 1,0 mm), la mayoría en el mismo estado de maduración; ya aclarados, los “no maduros” presentan el núcleo central; los aptos para inducción presentan el núcleo migrando entre el centro del ovocito y la periferia; los excesivamente maduros, revelan el núcleo bordeando la periferia.

En los machos el aspecto del semen, densidad y en ocasiones conteo y motilidad; de esta forma se conoce el grado de desarrollo de los productos gonadales. En esta etapa algunos productores utilizan dosis bajas de 0,5 mg/kg de Extracto Pituitario de Carpa (EPC) colocadas periódicamente, para estimular la gametogénesis y llevar a los animales a un estado más avanzado de maduración.

Inducción Hormonal – Incubación

La técnica de inducción hormonal se ha estandarizado con la utilización de EPC, el cual se encuentra en presentaciones como pulverizadas, liofilizada o entera y se puede adquirir en empresas especializadas, existiendo varias marcas disponibles en el mercado.

El material homoplástico, o sea la hipófisis cruda de la misma especie (Vinatea, 1989), dejó de usarse por ser de una complicada consecución y manejo (Juárez, 1989). Otros materiales como la hormona liberadora de la hormona luteinizante Lh-Rh (Méndez y Rodríguez, 1989) y la gonadotropina coriónica humana GCH (Valencia *et al.*, 1985) son usadas ocasionalmente; una tercera categoría de materiales como lo son antiestrógenos, dopaminas, gonadotropinas de mamíferos, esteroides, progestinas y corticoesteroides, fitohormonas son más usados en cyprinidos, salmónidos e investigaciones con silúridos.

El protocolo básico con EPC consiste en una dosis inicial de 0,5 mg/kg a la hora 0 y una dosis final de 5,0 mg/kg a las 8-12 horas siguientes. Se puede aplicar una o más dosis previas de 0,25 mg/kg (Da Silva, 1989 y González, 1989), dependiendo del estado de maduración de los huevos observados en el proceso de selección mediante el proceso de aclaración con el líquido de Serra.

El desove ocurre entre 8-9 horas (230-240 H°)

después de la última dosis; para cachama blanca se ha generalizado el desove semi-natural, es decir, se realizan en piletas (normalmente circulares) en donde la hembra y el macho se cortejan y realizan la liberación de los productos sexuales coordinadamente; si se presenta taponamiento del oviducto en la hembra o falta de estímulo en el macho para realizar el cortejo se recomienda realizar como medida de emergencia el desove en seco, por extrusión; para cachama negra aun cuando también se realiza semi-natural (J. Álvarez. Com. Pers.), se ha generalizado aplicar la técnica de desove en seco.

En el desove semi-natural, la hidratación de los huevos (ahora de diámetro 4 mm) ocurre en la pileta y se tienen 2 formas de manejarlos:

- La primera utilizando colectores (trampas) de los cuales se sacan los huevos hidratados con tamices, se mide la cantidad por volumetría y se reparten homogéneamente en las incubadoras de tipo cónicas de flujo vertical
- La segunda forma de manejo es conectar la salida de la pileta directamente a las incubadoras y los huevos se reparten al cálculo. Valorando posteriormente la cantidad de huevos por conteo de alícuotas de cada incubadora. Esta segunda forma tiene la ventaja de que no hay manipulación ni posibilidad de maltrato de los huevos.

Los huevos hidratados tienen baja densidad, pero no alcanzan a ser flotantes, por lo que requieren un pequeño flujo ascendente que los mantenga en suspensión dentro de una columna de agua; para la incubación se han dejado de lado de las incubadoras tipo McDonald o tipo Zoug y se realiza en incubadoras cónicas de flujo vertical (Woynárovich, 1986) de diferentes tamaños: desde 25 hasta 800 litros de capacidad prefiriéndose las de fibra de vidrio a las de tela.

Dependiendo del flujo de agua, en las incubadoras se pueden tener cargas superiores a 2500 huevos hidratados por litro, más el promedio de trabajo se encuentra alrededor de 1200-1500 y con suministro de un flujo de agua (2 litros/minuto) para incubadora de 100 L, se mantiene una buena calidad de agua, con oxígeno disuelto igual o superior a 6 mg/L. La duración de una incubación depende de la temperatura; a 26 °C es 17 - 18 horas (455 H°), al cabo de las cuales eclosionan larvas translúcidas, de longitud 3,5 – 3,8 mm, con natación vertical intermitente y que completan su desarrollo (aletas, pigmentación, arcos branquiales, tracto digestivo, vejiga gaseosa) en los siguientes cuatro a cinco días.

Larvicultura

Las larvas con 90 horas (aprox.) de nacidas y 6 mm de longitud, ya han llenado su vejiga gaseosa y han cambiado de nado vertical a nado horizontal; es cuando empiezan a alimentarse. En este momento, deben encontrar fácilmente alimento, de tamaño acorde al de sus bocas (400 micras), que posibilite su sobrevivencia dado que su reserva alimenticia (saco vitelino) ya está disminuida. Por lo anterior, el acercarse al desarrollo de sistemas de mesocosmos que generen la disponibilidad de organismos del perfil nutricional y del tamaño adecuado (Prieto *et al.*, 2007), es la vía para mejorar las tasas de sobrevivencia larval.

La permanencia de las larvas en la incubadora varía de acuerdo a la metodología desarrollada por los productores en cada centro de reproducción; algunos siembran en estanques de tierra al primer o segundo día de nacidos; otros siembran en estanques el tercer día, otros al cuarto (cuando las larvas nadan horizontalmente) o, al quinto día. En condiciones normales, se siembran 200 larvas/m² de espejo de agua.

También hay quienes mantienen las larvas en las incubadoras o las trasladan a piletas y allí las mantienen con suministro de alimentación durante los días 4, 5, 6 y 7, luego las siembran en los estanques. En incubadoras/piletas, la alimentación de las larvas se hace con *Artemia salina*, plancton local y/o alimentos preparados por el productor.

El protocolo de preparación de estanques varía de acuerdo con cada productor, pero se puede generalizar que, luego de la limpieza (extracción de lodos) se realiza un encalamiento con cal dolomita (50-100 g/m²) y abonamiento con material orgánico en proporción (100-200 g/m²); el abono más usado por su fácil consecución, es la gallinaza, pero también se puede usar estiércol de vacunos o de porcinos el cual puede ser fresco, fermentado o producto de biodigestores (Díaz y López, 1993). Se ha avanzado en el uso de abonos inorgánicos como DAP, triple 15 o urea, que permiten una dosificación exacta de los componentes activos aplicando dosis de 1,5 a 3,0 g/m² (Merino *et al.*, 2006), con repeticiones cada 5 a 7 días; la frecuencia de aplicación de los dos tipos de abonos (orgánicos o inorgánicos) se ajusta a la temperatura de la época y la densidad de plancton.

Para evitar la predación de las larvas de cachama por acción de las larvas de libélula (odonata) es necesario coordinar el proceso de inducción hormonal con el proceso de preparación del estanque. Algunas especies de odonata tardan 11 días desde la ovoposición a la eclosión (a 26° C); al día 12 habrá larvas de odonata;

en este caso, partiendo de un estanque totalmente seco, el inicio del llenado del estanque deberá ser 7 días antes del desove de cachama, de tal forma que cuando se encuentren las dos especies, el tamaño del alevino de cachama sea superior al de la larva de odonata y prede sobre ella. Si el inicio del llenado del estanque se ha realizado con mayor tiempo, el tamaño de la larva de odonata será suficientemente grande para que se invierta la situación y se prede sobre los pequeños alevinos de cachama.

La labor durante los días posteriores a la siembra consiste en mantener un excelente nivel de alimento planctónico, y esto es propio de cada centro e reproducción, pues depende de las características del agua, suelos, temperatura y cantidad de larvas sembradas. Se debe realizar un permanente monitoreo de los alevinos para evitar predadores o enfermedades. Con buen alimento los alevinos alcanzan talla de despacho (2 cm) a los 15 días de nacidos; complementando la alimentación por plancton e iniciando un acostumbamiento, se distribuye alimento concentrado comercial (de alto contenido proteico 40-50%) en harina por todo el estanque; el tamaño del grano se incrementa paulatinamente durante los días de crecimiento de los alevinos.

Enfermedades

En la etapa incubación se ha observado, sobre el corion de los huevos, el protozoo *Epistylis*; también el hongo *Saprolegnia* y naturalmente bacteriosis; en la etapa larval se pueden ser atacados por diferentes bacterias (*Aeromonas* y *Pseudomonas*) y hongos (*Saprolegnia*).

En los alevinos se presentan bacteriosis (*Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Myxobacterias*), ataques de protozoos como *Costia*, *Ichthyophthirius*, *Trichodina* y *Piscinoodinium* (Rey, 1995); ocasionalmente se encuentra *Hexamita* en el sistema digestivo; tremátodos monogenéticos como *Dactylogyrus* y *Gyrodactylus* y tremátodos digenéticos (por lo menos de 2 especies) se presentan por temporadas.

Para el control de ectoparásitos se ha generalizado el uso de sal (NaCl), reemplazando a los productos a base de cobre; para la *Hexamita* se utiliza el metronidazol, incorporado al alimento concentrado; para controlar los tremátodos monogenéticos se utilizan baños con Formol (25 ppm); los tremátodos digenéticos no se pueden eliminar directamente y por lo tanto se recomienda interrumpir su ciclo de vida eliminando del estanque los vectores (caracoles/aves); en ocasiones los productores sacrifican lotes enteros infectados con esas metacercarias para evitar su difusión.

Engorde

La aceptación que ha tenido esta especie por parte de los cultivadores se debe a que la cachama cumple con las condiciones requeridas para el cultivo, como son: especie rústica, resistente al manejo y a las enfermedades y tolera bajos niveles de oxígeno; adicionalmente presenta buen crecimiento y se obtienen tallas uniformes, buena conversión alimenticia y tiene crecimiento de compensación; no se reproduce naturalmente en cautiverio, su manejo es sencillo y tiene buena aceptación en el mercado.

Las características físicas y químicas básicas para el cultivo de cachama son: temperatura del agua entre 23 y 30 °C.; pH de 5,5 a 8, dureza del agua desde 25 mg/l, oxígeno disuelto 3 mg/l o mayor (Díaz y López, 1993).

Este tipo de cultivo se realiza desde las tierras bajas y cálidas hasta alturas de 1300 msnm en donde, para lograr los 500 gramos de peso final, la duración se extiende a 8 meses por influencia de la baja temperatura. Es común que en estas granjas piscícolas no exista estanque de pre engorde; el cultivo es realizado en una sola etapa, es decir, los alevinos son sembrados en un estanque y allí son mantenidos durante todo el tiempo de cultivo. Otras granja piscícolas, poseen estanques pequeños llamados de pre-cría, donde los alevinos se siembra a densidades de 15 – 20/m², por un periodo

de 30 a 60 días, luego de lo cual los peces se trasladan al estanque de engorde final, realizando cultivo en dos etapas; también se reporta como estrategia para disminuir las pérdidas de alevinos, la utilización de jaulas rectangulares con paredes y fondo en tela red sin nudo, de ojo de mala de 3/8", ubicadas dentro de los mismos estanques de engorde para mantener los alevinos durante los primeros 20 - 30 días de cultivo (Sarasty, 2018).

Cuando los pequeños piscicultores tienen algunas experiencias anteriores realizan policultivo con tilapia y/o con bocachico y/o yamú y/o carpa roja. En el policultivo está demostrado que hay que mantener una relación de dominancia de una de las especies, para que el objetivo de mayor productividad / menor costo se cumpla: la cachama debe sembrarse en proporción numérica del 80% (o mayor) y la especie secundaria en un 20% (o menor); el bocachico y la carpa se usan como acompañantes o especies terciarias, a muy baja densidad (un pez por 20 o más metros cuadrados).

Crecimiento

El cultivo para alcanzar un peso comercial de 500 gramos toma generalmente seis meses incluyendo la preparación y limpieza de los estanques. Los alevinos se siembran de un tamaño cercano a 2 cm (Fig. 9).



Figura 9. Alevinos de cachama blanca, *Piaractus brachypomus*

En las figuras 10 y 11 se presentan curvas típicas de crecimiento de lotes en cultivo a densidad de 1- 4

peces/m², alimentados con concentrado comercial tipo extruder.

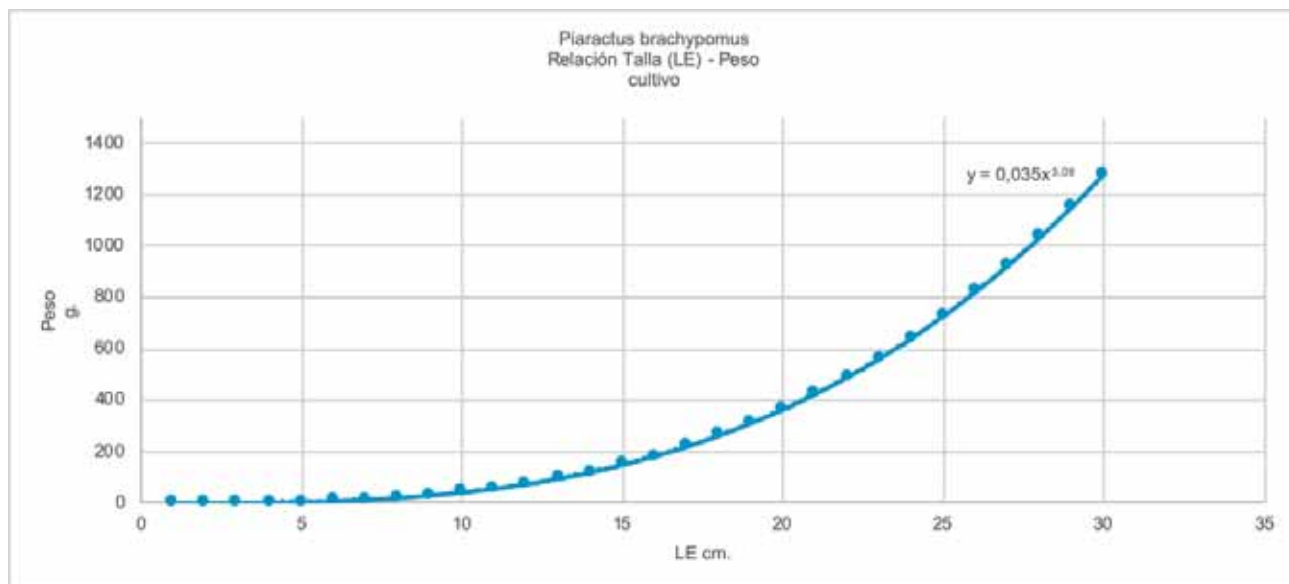


Figura 10. Curva de Crecimiento de la cachama blanca, alimentada con concentrado tipo extruder (Prada,1982)

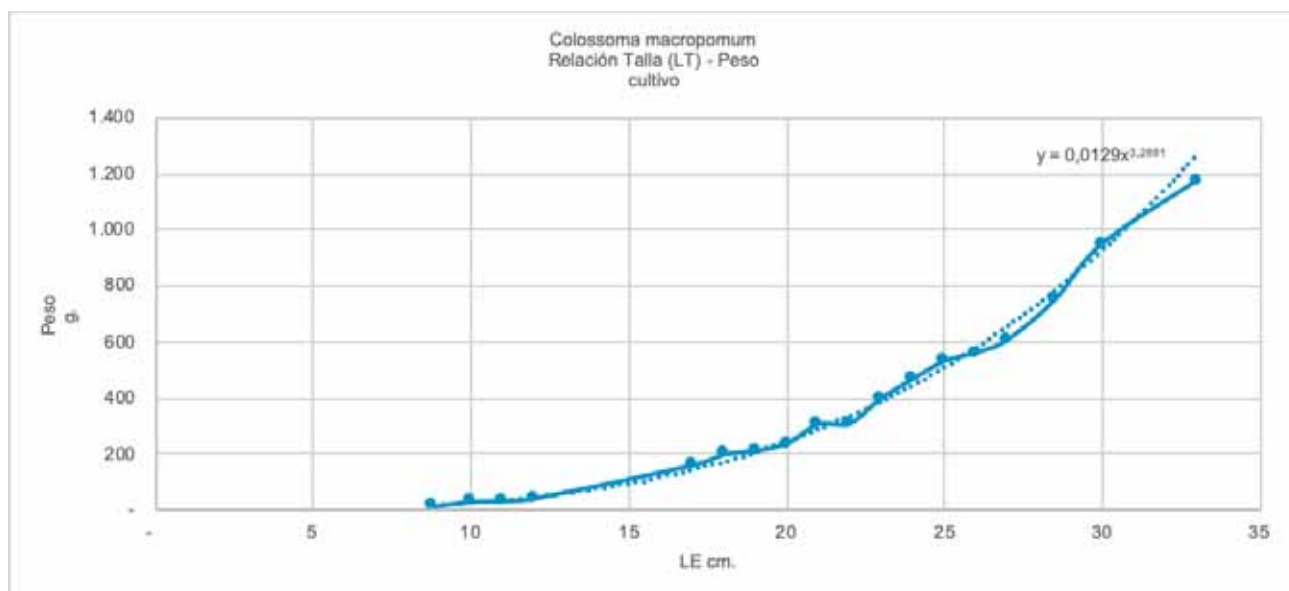


Figura 11. Curva de Crecimiento de la cachama negra, alimentada con concentrado tipo extruder (Sarasty, 2018)

En cultivos con densidades bajas (2 peces/m² o menores), excelentes condiciones medio ambientales y de manejo, la tasa de crecimiento se incrementa y supera el promedio de 3,09 gramos/día; se han registrado lotes a densidad 1 pez/m² con peso promedio final de 540 gramos alcanzados en 125 días (manifestando la gran capacidad genética de crecimiento que posee la especie).

Para hacer seguimiento al crecimiento de los peces bajo cultivo, con la ayuda de una red de arrastre

sin nudo, se realizan muestreos que cubran entre el 3 al 10 % de la población; se deben realizar con un intervalo de 20 a 30 días; realizando estas biometrías se registra la tasa de crecimiento, se controla la tasa de alimentación y se verifica el estado de salud del lote, permitiendo de esta manera hacer ajustes y tomar las medidas correctivas a tiempo.

Se observa que existe diferencia en cuanto a la relación talla peso entre los animales cultivados, y los procedentes del medio natural, esto quiere decir

que entre animales de la misma longitud se encuentra animales más pesados. Sin embargo, esta relación talla-peso), indica que estas especies adquieren peso relativamente rápido comparado con otras.

Alimentación

Comercialmente se recomienda utilizar el alimento concentrado extrudizado; este alimento ha reportado

mejoras en la conversión alimenticia, disminución de los residuos nitrogenados y, en general, mejor aprovechamiento (superior factor de conversión alimenticia, menos desperdicio) a pesar que las fórmulas utilizadas han sido diseñadas para otras especies de peces. En la tabla 2 se muestran datos de crecimiento, peso alcanzado y tasa de alimentación suministrada diariamente a los peces, en un cultivo típico promedio.

Tabla 2. Datos de crecimiento y peso y su relación con la tasa alimentaria diaria, en un cultivo típico de cachama

Día Cultivo	Peso Promedio g.	Tasa Alimenticia %
1	2	13,0
7	7	9,0
14	14	7,6
21	20	6,7
28	26	6,1
35	33	5,7
42	40	5,3
49	48	5,0
56	55	4,6
63	69	4,0
70	92	3,7
77	115	3,5
84	139	3,3

Día Cultivo	Peso Promedio g.	Tasa Alimenticia %
91	163	3,2
98	190	3,0
105	218	2,9
112	246	2,7
119	274	2,6
126	305	2,4
133	337	2,3
140	368	2,1
147	400	1,9
154	433	1,8
161	468	1,7
168	503	1,6
175	538	1,5

Dentro del esquema anterior se puede manejar el contenido de proteína de los concentrados de acuerdo con la tabla 3; en esa tabla se presenta el suministro de alimento, el cual inicialmente tiene alto contenido proteico (45 - 40%) recomendado hasta los 20 - 25 gramos de peso; con un contenido proteínico medio

alto (38 - 35%) hasta los 70 – 75 gramos; se continúa con un alimento de contenido proteínico medio-bajo (32 - 28%) hasta que los peces alcanzan un promedio de 190 - 200 gramos y de este peso en adelante, hasta finalizar el cultivo con un alimento de contenido proteínico bajo (24%) (Gonzalez, 2001).

Tabla 3. Contenido Proteínico del alimento de acuerdo con el tiempo de cultivo

Día de Cultivo	Peso Promedio (g)	Contenido Proteínico (% PB)
1 a 21	2 - 19	45
22 a 63	20 - 70	38
64 a 98	72 - 190	32
99 en adelante	191 >	24

La alimentación debe ser suministrada, todos los días de la semana, tres veces por día durante el primer mes, dos veces por día durante el segundo y en adelante se suministra en una o dos dosis por día (en lo posible dos). De acuerdo con la tabla 2, este consumo de alimento concentrado arroja técnicamente un factor de conversión alimenticia (FCA) total de 1,6:1 para peces

enteros; en la práctica las conversiones obtenidas con esta práctica, están entre 1,2:1 y 1,5:1 en cultivos con 1 a 4 peces/m² y manejo adecuado de fertilización y aguas. Importante ha sido la demostración negativa de alimentar a saciedad, ya que genera exceso de consumo, no aprovechamiento por parte del pez y mayor generación de residuos de alimento, que se

pierden (Kubitza, 2012).

Un manejo que optimiza el aprovechamiento del alimento concentrado es la aplicación de la técnica de ME (Microorganismos Eficientes), donde la utilización de microorganismos de la zona de cultivo, manejados mediante protocolos sencillos, genera menor consumo de concentrado, mejor FCA y propicia una superior calidad del agua; económicamente menos costos para el productor (Hernández, 2018).

Desde hace años han sido realizados diferentes estudios con productos vegetales básicos, como la alimentación con frutos de palma *Orbignya martiana*, maíz *Zea mays* (Da Silva *et al.* 1984a y Da Silva *et al.* 1984b), con densidades de 0.5 peces/m², suministrado al 3% de biomasa/día, donde el cultivo presentó conversiones de 3,4:1 y producciones de 4.234 kg/ha/año. Por comunicación personal con diferentes cultivadores, se conoce que también se utiliza el maíz cocinado, mejorando su digestibilidad y rendimiento; de igual forma el suministro de hojas de la planta conocida como bore. Esos mismos autores, igualmente probaron la alimentación de cachama con torta de la palma *Orbignya martiana* suministrada al 3% de biomasa/día, cultivo que presentó conversiones de 4,9:1 y producciones de 3.371 kg/ha/año. También se han realizado estudios con otros productos como son el helecho acuático *Azolla filiculoides* (Sanabria, 1994), la torta de soya *Glycine max* (López, 1994), harina de arroz y torta de palmiste (Quintero y Cortés, 1991), harinas de maíz, sorgo y soya (Torres y Uribe, 1995) estudios que dan indicaciones para su forma de aplicación, uso y efectividad. Basados en estudios anteriores, en los últimos años se han desarrollado alimentos alternativos con formulaciones correctamente calculadas, fabricados localmente con productos de las mismas granjas piscícolas, con resultados muy positivos en cultivos comerciales de pequeños productores (Gutiérrez *et al.*, 2016 a; Gutiérrez *et al.*, 2016 b; Gutiérrez *et al.*, 2016 c y UNAL, 2016).

Manejo

A fin de mejorar el rendimiento económico del engorde de cachama, el manejo son las acciones realizadas por el cultivador, y relacionan el recambio de agua, la cantidad de alimento suministrada al día, la biomasa que soporta el estanque y los factores climáticos (temperatura, lluvias).

La primera consideración general a tener en cuenta es la reposición del agua evaporada por la radiación solar e infiltración, para mantener el nivel de los estanques; por hectárea de espejo de agua se requiere entre 0 m³/

hora en época de lluvias intensas, hasta 20 m³/hora en épocas de radiación intensa y sin lluvias (por ejemplo, febrero/marzo en los Llanos Orientales de Colombia).

La segunda consideración es que el oxígeno requerido en el agua de un estanque, es la sumatoria del oxígeno requerido por la respiración de los peces (300 g/hora/tonelada de pez), más la respiración de plancton y microorganismos, más el gasto ocasionado por descomposición de material orgánico (alimento y heces, por ejemplo). Investigaciones básicas como la de Saint-Paul (1983) para *Colossoma macropomum*, quien registra que el consumo de oxígeno por hora se incrementa linealmente con respecto al peso del pez, así mismo, midió que el metabolismo del pez, y por lo tanto, el consumo de oxígeno, aumenta con la temperatura y determino las ecuaciones para este consumo, como son:

$$A \ 25^{\circ}C \quad \text{Consumo de Oxígeno} \\ (\text{mg O}_2/\text{hora}) = 1,01 \times \text{Peso} (*)$$

$$A \ 10^{\circ}C \quad \text{Consumo de Oxígeno} \\ (\text{mg O}_2/\text{hora}) = 1,55 \times \text{Peso} (*)$$

Urán *et al.* (1994a) determinaron el mismo parámetro para *Piaractus brachypomus*:

$$A \ 22,5^{\circ}C \quad \text{Consumo de Oxígeno} \\ (\text{mg O}_2/\text{hora}) = 461,3 \times \text{Peso} (*)$$

Para cachama, el cuadro presentado por Ribeiro (2009) (Tabla 4) simplifica la relación recambio/suministro de alimento:

Tabla 4. Relación entre biomasa, renovación, alimento y aireación en un cultivo de cachama

Renovación de agua (volumen) / día%	Sistema de Aireación (1Hp/1000m ²)	Carga máxima kg/ha	Alimento total kg/ha/día
0 - 5	Ausente	4000 – 6000	50 - 60
	Emergencia	6000 – 8000	70 - 80
de 5 - 10	Ausente	8000 - 10000	80 - 100
	Emergencia	10000 - 15000	100 - 150
10 - 20	Ausente	15000 - 20000	150 - 200
	Necesaria	20000 - 30000	200 - 300

Fuente: Ribeiro,2009; adaptado de Kubitz, 2009

Lo anterior significa que en estanques sin renovación de agua se puede sostener una biomasa de 500 a 600 gramos de pez/m² de espejo de agua (5000 – 6000 kg/ha), sin aireación suplementaria y con un suministro diario total de alimento que no supere los 5,5 g/m² (50 – 60 kg/ha) (basado en Kubitz, 2009). En

la práctica, teniendo una densidad de cultivo de 1.0 pez/m² (profundidad 1,0 – 1,2 m) y aplicando la tabla de alimentación referida en el numeral anterior, se mantiene este equilibrio saludable -sin recambio- hasta que los peces alcanzan 400 gramos y se suministran 7.6 g/m² alimento/día.



Figuras 12, 13, 14 y 15. Proceso básico de la cachama para su comercialización

Procesamiento

La gran mayoría de los productores entrega el producto entero, eviscerado y fresco. El proceso básico consta de selección, sacrificio, eviscerado y lavado; el empaque se hace a granel y, si la distancia lo requiere,

se utiliza hielo para conservar baja la temperatura (Figs. 12, 13, 14 y 15).

Dentro del proceso del pescado, la evisceración produce una pérdida adicional, que se presenta para la cachama en la tabla 5.

Tabla 5. Pérdidas por evisceración según el peso de sacrificio

Entero peso (g)	Pérdidas evisceración (%)	Peso eviscerado (g)
200	13	174
284	12	250
300	10	270
375	10	338
380	9	346
440	9	400
500	8	460
543	8	500
600	7	558

Igualmente, para cachama blanca, algunos datos complementarios a la pérdida de peso en la comercialización son: cabeza 12,5%, branquias, cola y aletas 9,6%. El análisis bromatológico básico muestra un contenido de proteínas del 16,6%, grasas 3,3% y cenizas en un 2,0% la parte de carne de la cachama es del 43,2% de su peso, en contraste con la tilapia cuyo aprovechamiento es del 40% con respecto a las pieles, un animal de talla total de 32 cm suministra una piel de 85 cm².

Para la cherna o cachama negra las pérdidas son: cabeza, 23,69%; piel más huesos, 25,32% y carne aprovechable, 37,91%. El análisis bromatológico muestra un contenido de proteínas del 17,77%, grasas de 2,95% y cenizas en 1,1% (Bello y Gil, 1992).

Manejo para la prevención de enfermedades en el cultivo

Hasta el día de hoy no se han reportado epizootias ocasionadas por organismos patógenos de alta peligrosidad como bacterias o virus, tal como ocurre en otras latitudes o con otras especies, en donde arrasan todos los cultivos de un área e inclusive de una cuenca.

Por el contrario, los cultivos de cachama tienen como característica común una muy baja incidencia de enfermedades y parásitos; la sobrevivencia promedio está por encima del 95% y no son extraños los casos del 100%.

Se puede afirmar que el mal manejo del cultivo es, por regla general, el causante de la presencia anomalías: aspectos como no cumplimiento del protocolo de adecuación de estanques, no cumplimiento del protocolo de siembra de alevinos y un insuficiente

recambio de aguas son fundamentales para el buen desarrollo de los peces.

La correcta siembra de los alevinos en el estanque de engorde es una labor básica de cuidado, porque en ellos el cambio desde las condiciones físico-químicas del agua de los estanques en las granjas piscícolas de los productores (de alevinos) a las condiciones del estanque de siembra, luego de un transporte de varias horas, se puede producir, además del estrés del viaje, un choque demasiado fuerte que conlleva a su debilitamiento, baja de defensas y la posterior presencia de bacteriosis y micosis.

Otro aspecto a tener en cuenta es la limpieza de los estanques; los casos más comunes reportados, que se pueden relacionar con estanque sucios o con exceso de materia orgánica, tienen que ver con la presencia de *Dactylogyrus* o *Piscinoodinium*, infestando peces de 100 a 300 gramos y causando mortalidades; este mismo caso es válido para bacterias, cuya presencia en el agua es normal e inocua, pero en condiciones adversas al pez (alta carga de materia orgánica, bajas de oxígeno) aumentan su cantidad, incrementando su patogenicidad y ocasionando mortalidades. La alta carga de materia orgánica también provoca caídas de oxígeno de carácter grave, como ocurre en estanque rodeados por floresta.

Cuando se registra presencia de parásitos es recomendable, antes de una nueva siembra de alevinos, encalar el estanque con cal viva en una proporción de 100-150 g/m² para realizar la desinfección; se debe aplicar en el estanque seco, esparcida por toda el área y luego proceder a llenar lentamente el estanque (3-5 días). El estanque lleno puede ser usado en 7 días sin peligro para los nuevos peces.

Las bajas de oxígeno en el agua son muy comunes en los cultivos, especialmente en la temporada de verano, en la cual las temperaturas se elevan disminuyendo el oxígeno disuelto, hay producción excesiva de fitoplancton por la alta radiación solar y que a su vez consume oxígeno en las horas de la noche. La combinación de lo anterior lleva a que en horas de la madrugada los niveles de oxígeno lleguen a niveles cercanos a cero o inclusive cero, ocasionando la muerte de todos los organismos del estanque.

Dado que los equipos de medición y su mantenimiento son por regla general muy costosos para los pequeños piscicultores, una relación de manejo entre cantidad de agua de recambio (litros/minuto), densidad de cultivo (peces/m²), tamaño de los peces y estación climática (lluvias - sequía) debe ser levantada por cada granja piscícola productora y así poder evitar estas caídas de oxígeno. Se puede generalizar que una caída de oxígeno temporal y mediana, retrasa el crecimiento en cinco días; una caída de oxígeno temporal fuerte, lo retrasa 20 días; si la deficiencia es crónica los peces dejan de alimentarse y de crecer, mientras persista el

problema.

Cultivo

Cultivo en estanques

En Colombia la clasificación de los piscicultores la genera la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP, 2019); como se mencionó anteriormente, la mayoría de los cultivos de cachama en el país son realizados por piscicultores a pequeña escala (Fig. 16), quienes presentan una caracterización (González, 2011) que revela tanto aspectos a optimizar, como las grandes ventajas de estas dos especies de serrasálmidos.

Con cultivo de cachama se encuentran estanques con tamaños entre 15 m² hasta mayores a 10.000 m², en tierra; la generalidad con área inferior a 1000 m², con entrada y salida de agua independientes y con profundidades entre 0,60 m. y 3,0 m. (profundidad promedio nacional 1,16 m). (Tabla 6).

Tabla 6. Tamaño de estanque usado en cultivos de cachama

Área m ²	%
15 - 500	35,7
501 - 1000	21,7
1001 - 2500	27,1
2501 - 5000	13,9
5001 - 10000	1,1
> 10000	0,4



Figuras 16. Estanque de un pequeño productor

Solamente el 41% de estos productores reportan el uso de fertilización (orgánica o inorgánica); la cantidad de alevinos/año sembrados por productor, varía entre 100 y 29.000, con un promedio nacional de 3.619 peces (Tabla 7).

Tabla 7. Cantidad alevinos sembrados productor/año en cultivos de cachama

Cantidad alevinos sembrados productor/año	%
15 - 500	13
501 - 1.000	16
1.001 - 2.500	26
2.501 - 5.000	26
5.001 - 10.000	11
> 10.000	10

Siembran a densidades entre 0,1 y 20 alevinos/m², teniéndose un promedio de cultivo de 3,0 peces/m² (Tabla 8).

Tabla 8. Densidad usada en cultivos de cachama

Densidad Siembra peces/m ²	%
0,1 - 0,99	10
1,0 - 2,0	37
2,1 - 3,0	20
3,1 - 4,0	12
4,1 - 5,0	8
5,1 - 10	11
> 10	3

Estos productores reportan cargas finales desde 0,07 kg/m³ hasta 9,0 kg/m³ (Tabla 9).

Tabla 9. Carga biológica en cultivos de cachama

Biomasa kg/m ³	%
0,00 - 0,20	7
0,20 - 0,40	16
0,41 - 0,60	17
0,61 - 0,80	14
0,81 - 1,00	10
1,10 - 1,50	13
1,51 - 3,00	14
3,10 - 5,0	8
> 5,0	2

Las densidades y cargas mayores se presentan en sitios donde la fuente de aguas es suficiente durante todo el año y su ingreso puede realizarse por gravedad sin ocasionar gastos por bombeo. En zonas planas donde las fuentes de agua corren a un nivel inferior del estanque, las densidades se mantienen bajas, para un recambio bajo o no recambio (40% de los productores).

El tiempo de cultivo varía entre 4 meses y 18 meses, presentándose una duración promedio de 5,6 meses, con la notoria característica que la gran mayoría de los pequeños productores de cachama no tienen cultivos de una duración pre-establecida, ni programada (Tabla 10).

Tabla 10. Tiempo de Cultivo empleado en cultivos de cachama

Tiempo Cultivo meses	%
No fijo/No programado	73
4,0 - 4,5	11
5,0 - 6,0	11
6,1 - 7,0	2
7,1 - 8,0	1
> 9	2

La alimentación utilizada por los pequeños productores incluye concentrado comercial, subproductos de la granja piscícola y frutas/semillas, suministrada en varios esquemas (Tabla 11).

Tabla 11. Alimentación suministrada en cultivos de cachama

Formas de Alimentación usada	%
Sólo Concentrado Comercial	45,5
Sólo Subproductos	0,4
Sólo Frutas y semillas	0,7
Concentrado + subproductos	32,1
Concentrado + frutas y semillas	13,0
Subproductos + frutas y semillas	-
Concentrado + Subproductos + frutas y semillas	7,8
Ningún suministro	0,4

Los datos indican que cerca de la mitad de los pequeños productores utilizan exclusivamente alimento concentrado comercial y la mitad restante complementa la alimentación con productos y subproductos de la misma granja piscícola como frutas (papaya, guayaba, aguacate, plátano, mortiño), maíz cocinado, sorgo, ramio, bore, yuca rayada y palmiste, buscando una disminución de costos y teniendo como consecuencia ciclos de engorde más largos por un crecimiento más lento.

La mayor ventaja de estos cultivos pequeños es su gran rentabilidad; técnicamente hablando, la infraestructura necesaria para el ingreso de aguas no es grande (ni costosa), no se necesita una gran cantidad de agua para el recambio diario y la productividad -medida en toneladas/hectárea/año- alcanza niveles buenos (Instituto Sinchi, 2017 y Instituto Sinchi, 2018) y excelentes principalmente en áreas montañosas donde hay fuentes de agua abundantes (Antioquia, Santander), que permiten incrementar las densidades

de cultivo a 4 - 6 peces/m², o superiores.

Por no requerir de manejos adicionales (como traslados, sexaje, selección) la mano de obra externa requerida es poca y el cuidar de peces forma parte de las labores cotidianas de la granja piscícola, los costos son reducidos en un alto porcentaje, aumentando el beneficio. Normalmente el mercadeo se efectúa en la misma granja piscícola o en la zona aledaña (en la vereda). Estas ventajas comparativas, tanto con otros peces como con otros cultivos, han fomentado el desarrollo de la cachamicultura a este nivel en todo el país, hasta donde las temperaturas lo permiten.

Por el número de unidades productivas y su tamaño reducido, los productores pequeños tienen producciones puntuales, esporádicas y no están presentes en el mercado todos los meses del año; estos datos son coincidentes con la falta de una duración determinada de los ciclos (Tabla 12).

Tabla 12. Número de Ciclos Productivos / año por productor

CICLOS / Año	%
No fijo/No programado	67,3
< 1	0,2
1,0	2,7
1,1 – 1,5	1,8
1,6 -2,0	26,9
2,1 – 3	1,1
>3	-

Las principales desventajas de estos pequeños cultivos son que los costos por alimentación con alimentos concentrados son proporcionalmente mayores, la oferta de producto es muy estacional y

que los cultivadores tienen muy baja capacidad de negociación.

Se presenta la estructura de costos para este tipo

de producción, para el área de mayor producción de cachama en el país. Caracteriza cultivos de baja densidad (2 peces/m²), 6 meses de duración, un factor

de conversión alimenticia (FCA) de 1:1.5 y con peso de venta de 500 gramos, vendido eviscerado en granja piscícola (Tabla 13).

Tabla 13. Estructura de costos para cultivos de cachama Meta (2019)

Villavicencio (Meta) Cachama blanca		
Costos Producción/Kg		
Cal	\$ 96	2,5%
Abonos	\$ 120	3,2%
Alevinos	\$ 200	5,3%
Alimento	\$ 2.052	53,9%
Personal	\$ 350	9,2%
Acarreos de insumos	\$ 115	3,0%
Varios	\$ 410	10,8%
Bombeo	\$ -	0,0%
Fletes de producto	\$ -	0,0%
Mantenimiento Instalaciones	\$ 215	5,6%
Proceso Evisceración	\$ 250	6,6%
Costo de Producción/Kg	\$ 3.808	100,0%
PRECIO DE VENTA \$/Kg	\$ 5.200	
Utilidad bruta/Kg	\$ 1.392	
B/C		37%

Comparativamente se incluye la misma estructura para otra zona del país, donde las condiciones de cultivo y mercadeo se diferencian: cultivo de baja densidad (1 pez/m²), 7 meses de duración, factor de conversión

alimenticia (FCA) de 1:7,1 y con peso de venta de 650 gramos, vendido entero en el centro urbano más cercano (Tabla 14).

Tabla 14. Estructura de costos para cultivos de cachama negra Amazonas (2018)

San Pedro (Amazonas) Cachama negra		
Costos Producción/Kg		
Cal	\$ 178,27	3,3%
Abonos	\$ 58,23	1,1%
Alevinos	\$ 655,55	12,0%
Alimento	\$ 3.051,27	55,7%
Personal	\$ 495,02	9,0%
Acarreos de insumos	\$ 194,36	3,5%
Varios	\$ -	0,0%
Bombeo	\$ -	0,0%
Fletes de producto	\$ 500,00	9,1%
Mantenimiento Instalaciones	\$ 346,23	6,3%
Costo de Producción/Kg	\$ 5.478,94	100,0%
PRECIO DE VENTA \$/Kg	\$ 8.500,00	
Utilidad bruta/Kg	\$ 3.021,06	
B/C		55%

Cultivos intensivos

El tema de cultivos intensivos, desarrollados en jaulas, en sistemas de recirculación (RAS) y sistemas de bioflock, son tratadas en capítulo especial de este mismo volumen.

El cultivo a altas densidades (superior a 15 - 20 peces/m³) se puede aplicar en lagunas, ciénagas y embalses, desarrollado en jaulas. El objetivo de este cultivo, no solo puede ser el producir el pez ración de presentación entera, sino que se puede enfocar a la producción masiva de carne de pescado (biomasa) para ser procesada (molida, triturada), en donde el factor importante es la cantidad de kilos producidos por metro cúbico al año. En jaula, se reportan crecimientos de 0,8 – 1,0 k en 8 meses (20 peces/m³), 18 kg/m³ de carga final (Hoyam Mojos, 2010); en sistemas cerrados, cargas finales de 12 – 13 kg/m³ con ejemplares de 445 g (Poleo *et al.*, 2011)

Los sistemas que requieren energía para su funcionamiento (RAS, Bioflock) son inversiones de alto nivel, equipos y tecnología sofisticada, así como manejo técnico especializado y permanente, lo que en Colombia impone altos costos de operación y mantenimiento, que son compensados por la escala de producción (industrial); para pequeños productores, en general, no son viables.

Tabla 15. Peso de venta en cultivos de cachama

Peso de Venta (g)	%
0 - 124	1
125 - 200	2
201 - 350	34
351 - 450	26
451 - 600	25
600 >	11



Figura 17. Cachamas para comercio a granel

Comercialización

Comercialmente a nivel nacional, el tamaño de venta tiene el grueso del mercado (60.5%) entre 200 y 450 gramos (Tabla 15) (González, 2011).

La mayor comercialización se realiza con el pescado eviscerado, fresco, empacado a granel (Fig. 17).

Los pequeños productores venden en la misma granja piscícola (inclusive con vísceras) o dentro de un

radio de pocos kilómetros de ella; algunos venden el producto directamente al consumidor, permitiendo mayores márgenes de utilidad.

Los productores con producciones mayores y continuas, requieren de un mercado más elaborado vendiendo el producto a minoristas, en las plazas de mercado e inclusive a intermediarios que lo transportan fuera de la región; en este caso se requiere de enfriamiento/congelación previa; una alternativa efectiva para esta parte de congelación y empaque, que

mejora la presentación y además recupera hasta el 1% del peso perdido por el frío es realizar inmediatamente antes del empaque, el proceso de vidriado.

En los últimos años se ha abierto un buen mercado para ejemplares entre 200 a 350 gramos. siendo muy notorio el tamaño de 333 gramos (3 peces por kilo) que son utilizados en restaurantes populares, casinos de empresas y también comprados por buena cantidad de amas de casa que adquieren el producto en plazas de mercado (Fig. 18).



Figura 18. Oferta en Plaza de mercado

Unos pocos productores están realizando un procesamiento secundario que consiste en la descamación de los peces y un mejoramiento en la presentación, colocándolo en bandejas de poliestireno

expandido (icopor) con protección de película plástica; igualmente entero, eviscerado, sobre cama de hielo en escarcha se tiene comercio en cadenas de supermercados (Fig. 19).



Figura 19. Muestra de Cachama en Supermercado

Las ventajas comparativas del cultivo han conllevado que en Colombia la cachamicultura haya tenido un buen desarrollo; la producción por cultivo de cachamas pasó de cero toneladas en 1982, a 700 toneladas en 1988, a 12.335 en 1998 (INPA,1999) y

ahora 23.000 ton/año (2018).

Este incremento de la comercialización de la cachama en todo el país puede verse en la figura 20.

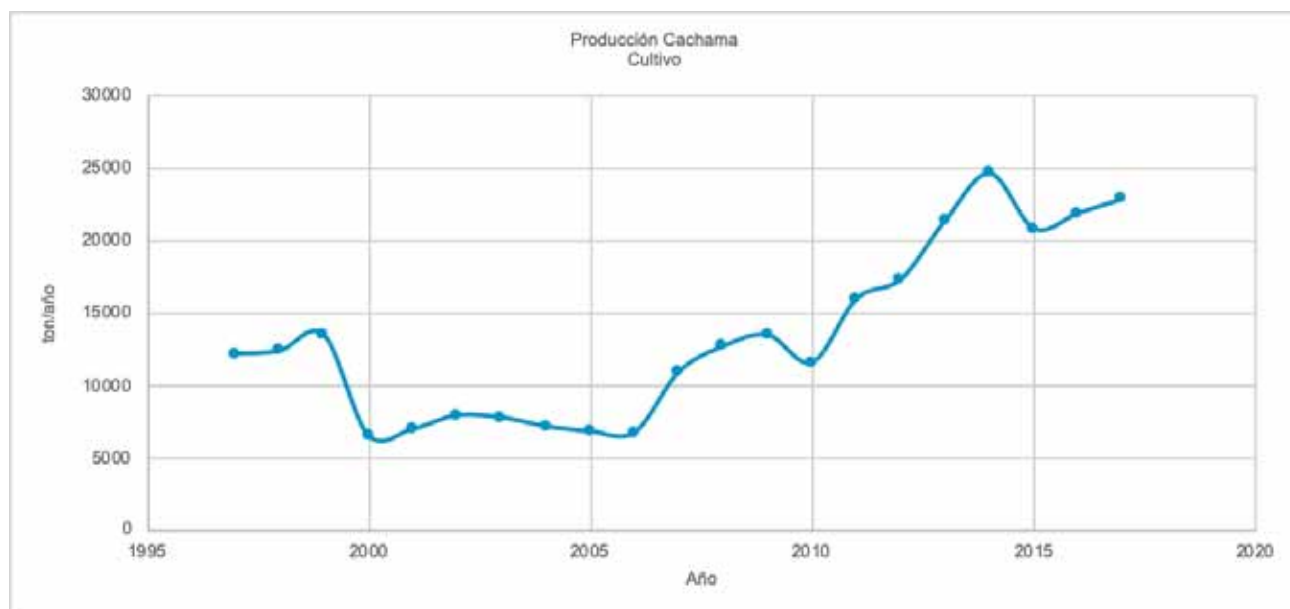


Figura 20. Producción de Cachama por piscicultura

Fuente: AUNAP, 2019

Para incrementar estas cifras se debe enfatizar en solucionar varios problemas. como son:

Se requiere de una Estrategia Nacional de Mercadeo coordinada, para el posicionamiento de productos básicos y especialmente con valor agregado en mercados nacionales e internacionales.

Fortalecer la asociatividad de los productores para aumentar productividad, coordinar producciones, enfrentar la deficiencia de los canales de comercialización y el incremento de costos en los insumos.

Implementar un plan de mejora genética de las especies para mejorar eficiencia.

Referencias

- Agudelo C., E., I.Z. Pineda, A. Acosta S., H. Ramírez G., R.E. Ajiaco M. y G. González C. (2011 a). *Piaractus brachypomus*. En: Lasso. C.A., E. Agudelo C., L.C. Jiménez S., H. Ramírez G., M. Morales B., R.E. Ajiaco M., F.P. Gutiérrez, J.S. Usma O., S.E. Muñoz T. y A.I. Sanabria O.(Eds.) I Catálogo de los Recursos Pesqueros Continentales de Colombia. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. IAvH. Bogotá. D.C. Colombia. 236 -242.
- Agudelo C. E., Pineda, I.Z., Ramírez G., H., Acosta S., A., Ajiaco M., R.E. , Usma, J.S. y González C., G. (2011 b). Agudelo C. E, I.Z. Pineda, H. Ramírez G., A. Acosta S., R.E. Ajiaco M. y G. González C. 2011. *Colossoma macropomum*. En: Lasso. C.A., E. Agudelo C., L.C. Jiménez S., H. Ramírez G., M. Morales B., R.E. Ajiaco M., F.P. Gutiérrez, J.S. Usma O., S.E. Muñoz T. y A.I. Sanabria O.(Eds.) I Catálogo de los Recursos Pesqueros Continentales de Colombia. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. IAvH. Bogotá. D.C. Colombia. 214 - 219.
- Arias, J.A. y Vásquez, W. (1988). Ampliación del conocimiento biológico de *Colossoma* sp, en ambientes naturales de la cuenca del río Meta. Universidad Tecnológica de los Llanos Orientales. Instituto de Investigaciones para la Orinoquia.
- AUNAP. (2019). Resolución número 1607, por la cual se establece la clasificación de los acuicultores comerciales en Colombia de acuerdo con la actividad el sistema y el volumen de producción. Bogotá, 10 p.
- Bello, R.A. y Gil, W. (1992). Evaluación y aprovechamiento de la cachama (*Colossoma macropomum*) cultivada como fuente de alimento. Programa Cooperativo Gubernamental. Proyecto AQUILA II. FAO. Documento de campo 2. México. 113 p.
- Cadena Nacional de Acuicultura-MADR. (2018). Cifras de Acuicultura 2017. Presentación. 24 p.
- Carolsfeld, J. (1989). Reproductive physiology and induced breeding of fish as related to culture of *Colossoma*. 37 -73 p. En: Hernández, A. (Ed). Cultivo de Colossoma. SUDEPE. CIID. COLCIENCIAS. 475 p.
- Da Silva, A.B. (1989). Reproducción de Colossomas. 17 – 32 p. En: Avances en el cultivo de peces del género *Colossoma*. Programa Cooperativo Gubernamental. Proyecto AQUILA II. FAO. Documento de Campo 5. Brasília. 235 p.
- Da Silva, A.B., Carneiro, A. y Rezende, F.. (1984 a). Contribuição ao estudio do cultivo intensivo do Tambaquí, *Colossoma macropomum* Cuvier, alimentado com torta de babaçu *Orbignya martiana* L. 147 – 156 p. En: Anâis do Simposio Brasileiro de Aquicultura 3. Sao Paulo.
- Da Silva, A.B., Carneiro, A. y Rezende, F. (1984 b). Contribuição ao estudio do cultivo intensivo do Tambaquí, *Colossoma macropomum* Cuvier, com a utilização de milho (*Zea mays*) em grão como alimento. 157 – 164 p. En: Anais do Simposio Brasileiro de Aquicultura 3. Sao Paulo.
- Díaz, F.J. y López, R.A. (1993). El Cultivo de la Cachama Blanca (*Piaractus brachypomus*) y de la cachama negra (*Colossoma macropomum*). 207 – 219 p. En: Rodríguez, H., G. Polo y G. Salazar (Eds.) Fundamentos de Acuicultura Continental. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura INPA. Bogotá. 286 p.

Eschmeyer, W.N., Fricke, R. y Van der Laan, R. (Eds.). 2019. Catalog of Fishes: Genera. Species. References. <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>

FAO. (2010). Reporte Taller diagnóstico y seguimiento de la acuicultura de pequeña escala y recursos limitados en América Latina. Asunción. Paraguay. 8 p.

FAO. (2012). Diagnóstico de la Acuicultura de Recursos Limitados (AREL) y de la Acuicultura de la Micro y Pequeña Empresa (AMYPE) en América Latina. Serie Acuicultura en Latinoamérica: (7). 26 p.

García-Dávila, C.R., Sánchez, H., Flores, M., Mejía, J., Angulo, C., Castro-Ruiz, D., Estivals, G., García, A., Vargas, G., Nolorbe, C., Núñez, J., Mariac, C., Duponchelle, F. y Renno, J.F. (2018). Peces de Consumo de la Amazonia Peruana. IIAP. Iquitos. 218 p.

González A., R. (1989). Tecnología de la reproducción de la Cachama (*Piaractus brachypomus* y *Colossoma macropomum*). Memorias segundo curso Cultivo de Cachama. INDERENA Regional Llanos Orientales. Villavicencio.

González A., R. (2000). La cachama Blanca. Revista ACUIORIENTE. Villavicencio (8): 8 – 10.

González A., R. (2001). “El Cultivo de la Cachama (*Piaractus* y *Colossoma*)” Capítulo XV. Pp.: 329-346. En: Fundamentos de Acuicultura Continental. Rodríguez Gómez, H; P. Victoria Daza. y M. Carrillo Ávila (Ed.) Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura INPA. Ministerio de Agricultura. Colombia. Bogotá, D:C: 423 pp. ISBN: 978-958-9356-06-7

González A., R. (2011). Diagnóstico del Sector de la Acuicultura de Recursos Limitados de Colombia (AREL). Informe Técnico Final de Consultoría. FAO-RLC, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Santiago, Chile. 41 p.

Gutiérrez E., M.C., R. Murillo P., K. L. Barajas A. y A. C. Restrepo C. (2016 a). Catálogo Dietas piscícolas artesanales de bajo costo convalidadas con productores de recursos limitados. Proyecto Tcp/Rla/3504 Alimentos Alternativos Arel. AUNAP, UNILLANOS. Villavicencio. 20 p.

Gutiérrez E., M.C., R. Murillo P., K. L. Barajas A. y A. C. Restrepo C. (2016 b). Catálogo Materias Primas Alternativas Como Insumos Potenciales Para La Elaboración De Alimentos Para Acuicultura. Proyecto Tcp/Rla/3504 Alimentos Alternativos Arel. AUNAP, UNILLANOS. Villavicencio. 20 p.

Gutiérrez E., M.C., R. Murillo P., K. L. Barajas A. y A. C. Restrepo C. (2016 c). Guía para la manufacturación artesanal de dietas alternativas de bajo costo para la producción de peces. Proyecto Tcp/Rla/3504 Alimentos Alternativos Arel. AUNAP, UNILLANOS. Villavicencio. 20 p.

Harvey, B. J. y Hoar, W.S. (1979). The theory and practice of induced breeding in fish. IDRC. Ottawa. 48 p.

Hernández L., N. (2018). Informe Técnico Final Emprendimientos Piscícolas. (Inédito). Contrato 062/2018. Proyecto Conservación y aprovechamiento sostenible de la diversidad biológica, socioeconómica y cultural de la amazonia colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Puerto Leguizamó. Putumayo. 26 p.

Hoyan Mojos. (2010). Producción en jaulas de pacú y tambaqui. Hoyan Mojos, CEAM, Adjuntament de Sant Cugat. San Ignacio de Moxos, Bolivia. 59 p.

- Inpa. (1999). Boletín Estadístico Pesquero 1997 – 1998. Bogotá. 114 p.
- Instituto Sinchi. (2017). Informe de Gestión Anual. Proyecto Conservación y aprovechamiento sostenible de la diversidad biológica, socioeconómica y cultural de la amazonia colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Bogotá, D.C.
- Instituto Sinchi. (2018). Informe de Gestión Anual. Proyecto Conservación y aprovechamiento sostenible de la diversidad biológica, socioeconómica y cultural de la amazonia colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Bogotá, D.C.
- Juárez, R. (1989). Avances en el cultivo de peces del género *Colossoma*. Programa Cooperativo Gubernamental. Proyecto AQUILA II. FAO. Documento de Campo 5. Brasilia. 235 p.
- Kubitza, F. (2009). Manejo na produção de peixes. Parte 1 - A conservação e o uso da agua. Panorama da Aqüicultura. Revista 108: 1-7
- Kubitza, F. (2012). Alimentando com Eficiencia para reducir Custos. Panorama da Aqüicultura. Revista 2012 Janeiro: 14 – 19.
- López, M.I. (1994). Evaluación de la digestibilidad aparente de la torta de *soya Glycine max* (L) como ingrediente principal en la formulación de dietas en alevinos de cachama blanca *Piaractus brachypomus*. Tesis Universidad Javeriana. Bogotá. 122 p.
- MADR - CCI. (2009). En: Lasso, C.A., E. Agudelo C., L.C. Jiménez S., H. Ramírez G., M. Morales B., R.E. Ajiaco M., F.P. Gutiérrez, J.S. Usma O., S.E. Muñoz T. y A.I. Sanabria O.(Ed.) I Catálogo de los Recursos Pesqueros Continentales de Colombia. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. IAvH. Bogotá. D.C. Colombia. 237 p.
- Maldonado S., L.E. (2004). Biología de la reproducción y crecimiento de *Colossoma macropomum* en la Amazonia Boliviana. Tesis MSc. Facultad Ciencias Farmacéuticas y Bioquímicas. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz. Bolivia. 91 p.
- Méndez, A. y J.A. Rodríguez. (1989). Reproducción inducida en cachama (*Piaractus brachypomus*, Cuvier) con Buserrelina (Conceptal). Siall 6 (1): 7 -11.
- Merino, M.C. (1983). Cultivo intensivo y reproducción inducida de la cachama. *Colossoma bidens* Spix, 1829, en los Llanos Orientales de Colombia. DRI-INDERENA. Villavicencio. 32 p.
- Merino, M.C. (1984). Cultivo en estanques y producción de alevinos de cachamas. *Colossoma bidens* Spix. 1829. *C. Macropomum* Cuvier. 1818 y sus híbridos. en el departamento del Meta. DRI. INDERENA. Villavicencio. 29 p.
- Merino, M.C., Salazar A., G. y Gómez L., D. (2006). Guía Práctica de Piscicultura en Colombia. Incoder. Bogotá, D.C. 61 p.
- Mesa-Granda, M. y M.C. Botero-Aguirre. (2007). La cachama blanca *Piaractus brachypomus* una especie para el mejoramiento genético. Facultad de ciencias Agrarias. Univ de Antioquia. Medellín. Rev. Colom. Cienc. Pecu. 20 (1): 79 - 85.

Mojica, J.I. (2005). En: Lasso, C.A., E. Agudelo C., L.C. Jiménez S., H. Ramírez G., M. Morales B., R.E. Ajiaco M., F.P. Gutiérrez, J.S. Usma O., S.E. Muñoz T. y A.I. Sanabria O.(Ed.) I Catálogo de los Recursos Pesqueros Continentales de Colombia. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. IAvH. Bogotá. D.C. Colombia. 236 p.

Mojica, J.I., J.S. Usma, R. Álvarez-León y C.A. Lasso (Ed.). (2012). Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia 2012. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, WWF Colombia y Universidad de Manizales. Bogotá, D. C., Colombia, 319 pp.

Pessoa, J.L. y Nuñez da Silva, M.C. (1988). Tambaquí (*Colossoma macropomum*. Cuvier 1818). Ampliação do periodo do desova. CODEVASF. Brasília. 20 p.

Poleo, G., Aranbarrio, J.V., Mendoza, L. y Romero, O. (2011). Cultivo de Cachama Blanca en altas densidades y dos sistemas cerrados. Pesq. Agropec. Bras. Brasília, v. 46 (4): 429 - 437.

Prada, N. (1982). Densidades y niveles de suministro de alimento en cultivo de cachama *Colossoma macropomum* Cuvier 1818. En: González, J. A. y B. Heredia (Eds.) El cultivo de Cachama. Fona IAP. Estación Experimental Guarico (Guanapito). 117 p.

Prieto G., Martínez M., J.L. y Ortiz A., M.E. (2007). Sistema de mesocosmos en agua dulce como alternativa en la producción de alimento vivo. Rev. Med. Vet. Zoot. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 52 (2): 108 – 112.

Quintero, L.G. y Cortés, M. (1991). Evaluación de la digestibilidad aparente de la harina de arroz y la torta de palmiste en cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). Tesis Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 137 p.

Rey, A.L. (1995). Efectividad de algunos tratamientos para ectoparásitos protozoarios en alevinos de cachama blanca. *Piaractus brachypomus*. Tesis Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 135 p.

Ribeiro, Andrea de Lima. (2009). Produção do Tambaquí Curumim no Município de Benjamin Constant – Amazonas. IDAM. Palestra segunda FEPEC. 36 p.

Saint-Paul, U. (1983). Investigations on the Neotropical fish *Colossoma macropomum* (Serrasalminidae). The influence of weight and temperature on the routine oxygen consumption. Amazoniana. VII (4): 433-443.

Sanabria O., A.I. (1994). Evaluación de la digestibilidad aparente de la azolla *Azolla filiculoides* como ingrediente principal en la formulación de dietas de cachama blanca *Piaractus brachypomus*. Tesis Universidad Javeriana. Bogotá. 155 p.

Sarasty M., N. (2018). Informe Técnico Final Emprendimientos Piscícolas. (Inédito). Contrato 086/2018. Proyecto Conservación y aprovechamiento sostenible de la diversidad biológica, socioeconómica y cultural de la amazonia colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Leticia. Amazonas. 30 p.

Sotero, M. (2011). DNA barcode na identificação produtos pequeiros. Tesis Mestrado. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA. 58 p.

Torres, C.A. y Uribe, I.A. (1995). Evaluación de la digestibilidad aparente de cuatro subproductos agroindustriales, fuentes de proteína y energía, en la nutrición de la cachama blanca *Piaractus brachypomus* Cuvier, 1818. Bol. Cien. INPA (3): 4-65.

UNAL. (2016). <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/policultivo-de-cachama-y-bocachico-alternativa-nutricional-para-arhuacos.html>

Urán C., L.A., W. Cano, V.J. Hernandez y J.E. Naranjo. (1994). Evaluación del consumo de oxígeno a nivel metabólico de rutina en *Piaractus brachypomus* “cachama blanca”, con peso inferior a un kilogramo. Informe Comisión de las Comunidades Europeas. Piscimeuse S.A. Cerer. Universidad de Liege- Universidad de Antioquia. Tihange.

Valencia, O., Chaparro, N. y Fadul, E.M. (1985). Aplicaciones hormonales para la reproducción artificial de la cachama negra (*Colossoma macropomum*) (Cuvier. 1818) y cachama blanca (*Colossoma bidens*) (Spix. 1829).

Valencia, O. y Puentes, R. (1989). El cultivo de la cachama en Colombia. 117 – 143 p. En: Hernández, A. (Ed.). Cultivo de *Colossoma*. SUDEPE. CIID. COLCIENCIAS. 475 p.

Vinatea, J.E. (1989). Sobre inducción final de maduración, ovulación y espermiación en peces cultivados. 51 – 96 p. En: Avances en el cultivo de peces del género *Colossoma*. Programa Cooperativo Gubernamental. Proyecto AQUILA II. FAO. Brasilia. Documento de campo 5. Brasilia. 235 p.

Woynárovich, A. y Van Anrooy, R. (2019). Field Guide to the culture of Tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1816). FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 624. Rome. FAO. 132 p.

Woynárovich, E. (1986). Tambaquí e Pirapitinga. Propagação artificial e criação de alevinos. 3ª Edição. Ministerio da Irrigação CODEVAF. Brasilia. 68 p.

CAPÍTULO 10

ANOTACIONES SOBRE EL CULTIVO COMERCIAL DE ESPECIES ÍCTICAS NATIVAS DE MAYOR RELEVANCIA EN COLOMBIA

HUGO HERNÁN FRANCO ROJAS¹



Introducción

El desarrollo de la piscicultura con especies nativas en Colombia inicio hace décadas, sin embargo y a pesar de la mejor adaptación de estos peces al clima y calidad del agua de la región, así como una cultura de consumo en algunas poblaciones ribereñas. Su cultivo y producción no son tan representativos como lo son las tilapias, las cuales lideran la producción nacional. Entre estas especies nativas se destacan por su importancia o potencialidad en la piscicultura continental colombiana las reofilicas, destacando: cachama blanca (*Piaractus orinoquensis*), cachama negra (*Colossoma macropomum*), bocachico (*Prochilodus magdalenae*), dorada (*Brycon moorei*), yamú (*Brycon amazonicus*), bagre blanco (*Sorubim cuspicaudus*) y bagre rayado (*Pseudoplatystoma fasciatum*).

Recientemente en la región amazónica está sobresaliendo el pirarucú (*Arapaima gigas*) la especie nativa con los mejores índices zootécnicos para la producción de carne de pescado en aguas continentales y la arawana plateada (*Osteoglossum bicirrhosum*), la cual posee gran interés en el mercado de peces ornamentales, principalmente el asiático donde es conocida como pez dragón.

Osteoglósidós

Generalidades

La familia Osteoglossidae está dividida en tres

subfamilias, de las cuales las Arapaiminae y Osteoglossinae se encuentran distribuidas en toda la cuenca amazónica y parte de la cuenca del Orinoco y Río Negro en Suramérica; mientras la Heterotinae se distribuye en África, Australia y Sudeste Asiático (Nelson, 1976).

Varias características particulares de este grupo de peces son la presencia de ovarios y testículos impares, ubicados al lado izquierdo. También un cuidado parental ejercido principalmente por los machos. Además de tener lengua y paladar óseo y la parte posterior del tracto gastrointestinal pasando a la izquierda del esófago y del estómago, cuando en todos los demás peces es por la derecha (Fontenele, 1948; Li y Mark, 1998).

La arawana plateada (*Osteoglossum bicirrhosum*) y la arawana azul (*Osteoglossum ferreirae*), representantes de la subfamilia Osteoglossinae y las especies que conforman la subfamilia Heterotinae, a la cual pertenece el espectacular pez dragón asiático (*Scleropages formosus*), son considerados por varios autores como auténticos fósiles vivientes. Desafortunadamente las dos especies de arawanas suramericanas, al igual que el pirarucú, han sido intensamente explotadas hasta lograr un indeseable puesto en el Libro Rojo de Peces Dulceacuícolas dentro de la categoría Vulnerable (Mojica *et al.*, 2012).

El Pirarucú, considerado dentro de los sistemas dulceacuícolas como el pez de escamas más grande del mundo, habita el río Amazonas y varios de sus

¹Biólogo. M. Sc. Dirección técnica Piscícola Pirarucú, Docente catedrático Universidad de la Amazonia, hugofrancorojas@yahoo.es

afluentes, prefiriendo las lagunas o cochas naturales, en las cuales se han llegado a capturar ejemplares de 4 metros de longitud total y 200 kg de peso; en confinamiento, esta especie puede alcanzar tres metros de longitud y cerca de 120 kilogramos al quinto año de cultivo, lo cual lo convierte en una especie ideal para la producción de carne. (Guerra *et al.*, 2002)

Desde 1868 y hasta 2013 se reconocía solamente la especie *Arapaima gigas*, pero el biólogo Donald Stewart de la Universidad Estatal de Nueva York describió sin lugar a equívocos una especie diferente, *Arapaima leptosoma*, a partir de un ejemplar pescado en el Amazonas en 2001, cerca de la confluencia de los ríos Solimões y Purus. Esta especie se distingue de los demás *Arapaimas* por tres características: la cavidad sensorial dorsal del preopérculo es muy delgada; el margen ventrolateral de la cabeza está fuertemente inclinado, tanto que la superficie ventral de la cabeza es casi plana; tercio anterior de la base de la aleta dorsal está cubierta con una vaina gruesa y amplia que la esconde (Stewart, 2013).

Stewart considera además que otras especies descritas en el siglo XIX por Achille Valenciennes y consideradas desde 1868, siguiendo el concepto de Albert Günther como sinónimos de *A. gigas*, son en realidad especies diferentes. En particular *Arapaima agassizii*, de la cual se poseen únicamente dibujos detallados que datan de 1829, pero se perdió un esqueleto que estaba en un museo destruido por un bombardeo durante la II Guerra Mundial. De acuerdo con Castello *et al.*, (2011) deben al menos reconocerse 5 especies de este género: *Arapaima arapaima* (Valenciennes, 1847), *Arapaima gigas* (Schinz, 1822), *Arapaima leptosoma* (D. J. Stewart, 2013), *Arapaima mapae* (Valenciennes,

1847) y *Arapaima agassizii* (Valenciennes, 1847).

Los mismos autores reportan que *Arapaima arapaima* es la más vista y fácil de distinguir, ya que tiene un pedúnculo caudal más profundo y posee 31 rayos en la aleta caudal, mientras que las otras tres tienen menos de 18 rayos y un pedúnculo estrecho.

Manejo de reproductores de Arawana plateada

Bajo las condiciones climáticas del piedemonte amazónico, el proceso de levante de reproductores de arawana plateada, puede demorar entre 28 y 36 meses; equivalentes al tiempo promedio que tarda una larva, de aproximadamente 7cm de longitud total y 5g, en alcanzar la talla y peso en que se inicia la madures sexual, que para el caso de *O bicirrhosum* es de 50-55 cm de longitud y 1,2-1,5 Kg.

Adecuación de estanques.

Los estanques para manejo de reproductores de arawana deben estar diseñados para cumplir con las exigencias reproductivas de esta especie, con una profundidad mínima de 70 cm y una máxima de 1,8 m.

El área y la forma de los estanques influyen notoriamente sobre las labores de pesca y la capacidad de identificar oportunamente los cortejos reproductivos y los machos incubantes. Estanques demasiado grandes o con formas irregulares dificultan estos procesos. La división con mallas de nylon es una alternativa para conformar unidades de producción al interior de estanques construidos con anterioridad para otros fines.



Figura 1. Modelo de estanque para manejo de reproductores de arawana plateada, con divisiones en malla para manejo por lotes y cuerdas de protección contra aves predadoras. Fuente: ACUICA

Para evitar pérdidas o estrés ocasionados por ataque de aves de rapiña, especialmente con las águilas pescadoras, se recomienda la instalación de sistemas de protección adecuados, los cuales deben ubicarse a una altura apropiada para no entorpecer las labores de pesca (Fig. 1).

Anualmente se realiza mantenimiento de estanques de reproducción. Este proceso busca mejorar condiciones de pesca y sobrevivencia de larvas y embriones mediante la extracción mecánica del exceso de lodo del fondo, lo cual se realiza secando el estanque o retirando el lodo por succión con manguera de 3" impulsada por gravedad o por bombeo.



Figura 2. Marcación electrónica con microchips a reproductores de arawana. Fuente: ACUICA

Marcación de reproductores.

La marcación de los reproductores es esencial para lograr el seguimiento puntual de cada individuo o pareja al interior de las unidades de producción, constituyendo una forma confiable de sexaje de los parentales a mediano plazo. La marcación permite llevar registros de productividad individual y colectiva, que al cabo de uno o dos ciclos de producción brindan la información necesaria para determinar y manejar relaciones genéricas precisas al interior de las unidades de producción (Fig. 2).

En lo posible cada criador de arawana debe realizar estas inversiones con el fin de mejorar la productividad de los criaderos. Además de ejercer mayor control sobre el cultivo, mejorando su competitividad.

Conformación de unidades de producción.

Una vez adecuadas las unidades de producción e identificados los reproductores se procede a la distribución al azar de los mismos, con lo cual se busca obtener relaciones interespecíficas similares (1:1).

En cada unidad de producción se deben mantener mínimo 20 y máximo 40 reproductores con el fin de garantizar condiciones óptimas para la reproducción y labores de pesca o extracción de larvas y embriones.

La densidad de siembra recomendada para obtener

un desempeño reproductivo óptimo es de 10 metros cuadrados por reproductor (**10 m²/reproductor**), de este modo se alcanza un éxito reproductivo de un 80% de las parejas conformadas. Densidades por debajo de los 10 m² afectan negativamente la producción de larvas.

Alimentación de reproductores.

Para garantizar condiciones nutricionales adecuadas en los lotes de reproductores de arawana plateada se deberá suministrar alimento concentrado al 38% de proteína en presentación de gránulos flotantes de 5mm de diámetro.

Adicionalmente, los primeros 7 días de cada mes se les deben incluir en esta dieta un suplemento de vitaminas y minerales, correspondiente a 80 gramos mezclados en 200 ml de aceite de cocina por cada 40 kg de alimento concentrado.

Se debe suministrar (hasta la saciedad, aproximadamente 1% de la biomasa al día) la cantidad que las arawanas acepten diariamente, para lo cual es necesario ofrecer dos raciones que serán distribuidas uniformemente en el estanque teniendo en cuenta que se tome el tiempo necesario para que los padrotes consuman la mayor cantidad posible de alimento, siendo necesario invertir un tiempo entre 15 a 20 minutos por estanque.

En lo posible se recomienda la instalación de una lámpara a unos 50 cm del espejo de agua del estanque, con el fin de atraer insectos, esto para complementar su dieta. Esta lámpara sólo se debe encender una o dos veces por semana entre las 07:00 y las 10:00 pm.

También se recomienda la siembra de peces forrajeros



Figura 3. Peces forrajeros nativos. Izq. cíclido nativo (*Bujurquina* sp), Der. sardina de laguna (*Astianax* sp).

Manejo de calidad de agua en estanques de reproducción.

El éxito en la cría comercial de arawanas en cautiverio depende en gran medida del manejo de la calidad de agua en los estanques de reproducción, el cual se centra en el control de seis parámetros: Temperatura, Transparencia, pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto y Alcalinidad. La correcta interacción entre la temperatura y factores ambientales como el brillo solar y las precipitaciones, son decisivas para lograr índices de reproducción y fecundidad aceptables. En el protocolo base se hace referencia a los niveles óptimos de cada parámetro físico – químico, sin embargo no se proponen métodos de estimulación a la reproducción por medio de cambios periódicos de calidad de agua en los estanques de reproducción, lo cual incluye recambios periódicos fuertes y abonamientos frecuentes con el fin de mantener un nivel de productividad primaria intermedio.

Los recambios fuertes del volumen de agua de los estanques de reproductores han sido estudiados como mecanismo viables para estimular la maduración y ovulación seminatural de la arawana plateada, ofreciendo las siguientes ventajas:

- Distribución más homogénea de los eventos reproductivos a lo largo del año.
- Mayor productividad en los lotes de reproductores.

nativos como sardinas de laguna y cíclidos (Fig. 3), los cuales no representan competencia en espacio y alimento para los reproductores de arawana, pero si cumplen una función nutricional importante para el proceso de ovogénesis, vitelogénesis y espermatogénesis, mejorando el desempeño reproductivo de los peces en cultivo.

Mensualmente se realiza un recambio de fondo, eliminando el 50% del volumen del estanque, el cual es renovado con agua estabilizada térmicamente en un reservorio. Este procedimiento se realiza como estímulo a los procesos de maduración gonadal y ovulación, dado que la arawana es una especie de ambientes lénticos, en los cuales los peces son estimulados a la reproducción de acuerdo con el nivel de los ríos y por los cambios súbitos de las características fisicoquímicas del agua.

De igual forma se debe tener en cuenta el nivel de productividad del agua en los estanques de reproducción. Para esto, una vez se realice el recambio de agua, se debe fertilizar el estanque, compostando previamente el material a aplicar por 2 días en un tanque de la siguiente forma y proporcionalmente al área del estanque: 40 g m² de abono orgánico y 5 g m² de triple 15, se llena con agua del estanque y se mezcla cada 12 horas y luego del tiempo requerido se aplica esparcido por todo el estanque.

Pesca de Incubantes y Extracción de Larvas.

Para el desarrollo de estos procesos se deberá cumplir con los siguientes pasos en orden cronológico.

Preparativos de pesca

- No se deben alimentar los padrotes con un día (24 horas) de anterioridad a la fecha de pesca.

- Determinar si es necesario reducir el nivel del estanque y seleccionar un lugar apto para realizar el encierro de los reproductores, siendo óptimas aquellas zonas con baja presencia de lodos y una profundidad mínima de 60 cm.

- Se debe desinfectar los utensilios y aparejos de pesca, utilizando una solución de formol industrial diluida en agua en una relación de 1 parte de formol por 50 de agua. Se deben dejar los utensilios y aparejos en esta solución por una hora y luego se juegan con abundante agua y se dejan secar desde el día anterior a la pesca.

Pesca

- Procurar realizar la pesca en horas de la mañana cuando la temperatura del agua no supere los 27°C, por lo cual se realizará una visita diaria por finca o en su defecto más de una si el clima lo permite (Días nublados o lluviosos).

- Si se visita más de una finca en el mismo día para extracción de larvas se debe enjuagar la ropa del personal para reducir el riesgo de diseminación de enfermedades entre las fincas visitadas. Además

de todos los aparejos de pesca utilizados en otro predio. Utilizar chinchorros con ojo de malla de $\frac{1}{4}$ de pulgada sin nudo y tres metros de altura con el fin de minimizar el estrés en los padrotes.

- El productor debe poseer entre 4 y 6 varillas o estacas de 2 m para sostener la malla durante el encierro, evitando la utilización excesiva de personal y reduciendo el riesgo de que los padrotes se escapen sin ser revisados.

- La velocidad de arrastre debe ser lenta, levantando ligeramente la plomada con los pies para reducir el arrastre de lodo hacia la zona de encierro y supervisión.

- En lo posible no acosar demasiado el lote de reproductores aún más si este es demasiado grande (más de 30 ó 40 individuos).

- Luego del encierro con el chinchorro grande se realizan pescas parciales con una malla pequeña o nasa grande para la revisión individual, donde se verifica el grado de madurez sexual, programación del próximo muestreo y si está incubando o no (Fig. 4).



Figura 4. Proceso de pesca y muestreo individual de reproductores de arawana.

Fuente: ACUICA

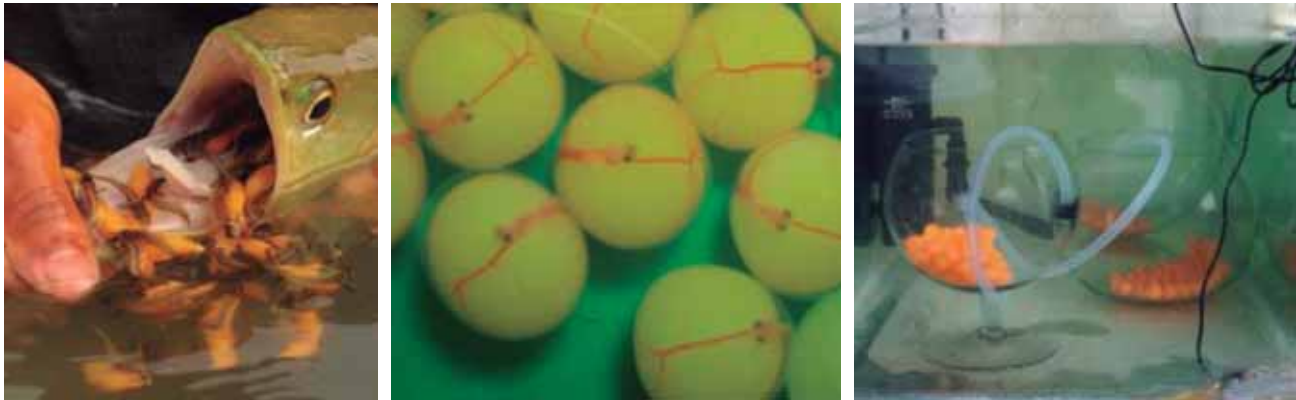


Figura 5. Cosecha de embriones de arawana (izquierda). Embriones en fase II (centro). Sistema de incubación (derecha). Fuente: ACUICA y Hugo Franco

Extracción de larvas o embriones.

En este proceso se debe tratar de hacer cosechas totales, extrayendo embriones a partir de estadio II en adelante. Muy importante observar durante el muestreo el grado de maduración de las hembras para programar con mayor exactitud el próximo muestreo y de esta forma evitar pescas innecesarias y estrés para los reproductores (Fig. 5).

Incubación artificial.

Este proceso se realiza en acuarios de forma cilíndrica u ovalada (bomboneras) (Figura 5 derecha) dentro de acuarios de vidrio de forma rectangular en el cual se realiza un sistema de recirculación de agua guiada por una manguera siliconada con un flujo de agua constante de 750 ml/minuto dirigido a cada bombonera, asimilando el movimiento circulante efectuado por el padre en la incubación bucal para oxigenar los huevos. También se utilizan líneas de aireación dentro del acuario que permite la saturación de oxígeno necesaria

para realizar una incubación efectiva.

Pirarucú

Reproducción

El Pirarucú se reproduce cuando supera los 6 años con aproximadamente 1,60 m. Los reproductores pierden el interés por comer, la cabeza se vuelve negra, al igual que el dorso y la aleta dorsal, los flancos de las aletas, vientre y región caudal toman coloración rojiza semejante al color del achiote. El dorso negro es para camuflar las larvas y alevinos que son oscuros, cuando las crías no necesitan de esta protección tornan su dorso a castaño (Campos, 2001).

El *A. gigas* es una especie heterosexual, presenta características sexuales externas con mayor acentuación en temporada reproductiva en animales adultos para distinguir el macho de la hembra (Fig. 6). La fertilización es externa. El ovario y el testículo terminan en un orificio hacia el exterior (Campos, 2001).

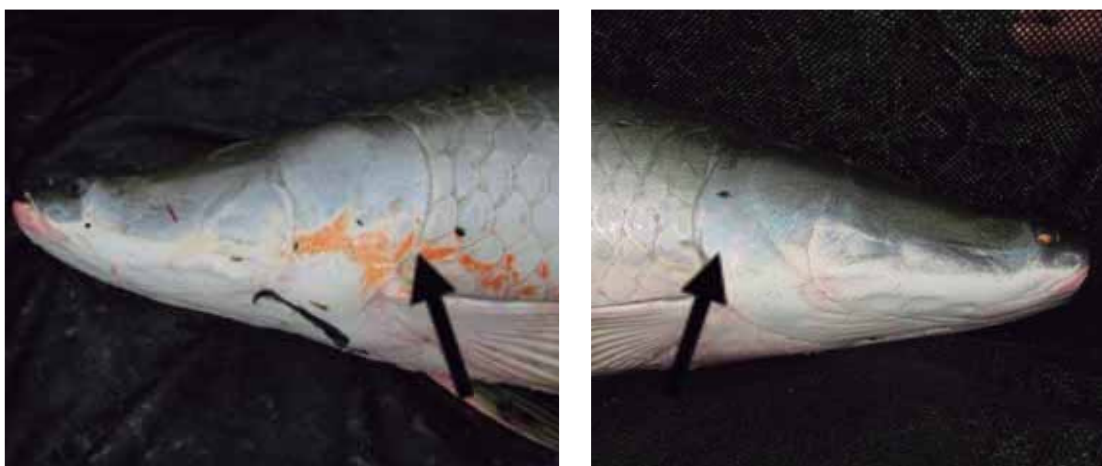
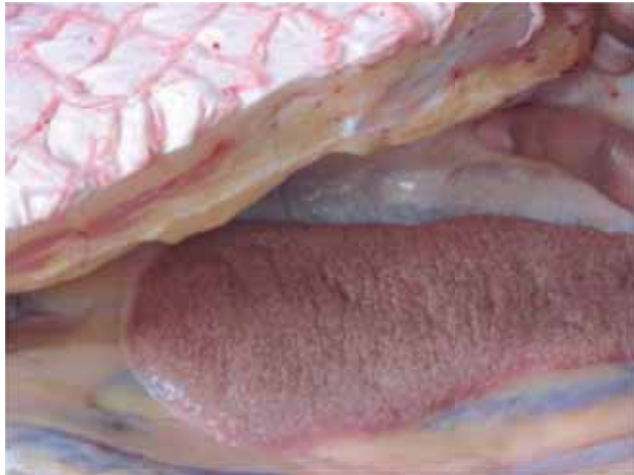


Figura 6. Dimorfismo sexual permanente en reproductores de pirarucú, nótese en el macho (izquierda) la coloración rojo-naranja en la región del opérculo branquial; mientras que esta coloración en la hembra está ausente (derecha). Fuente: Autor

En cuanto a los aspectos reproductivos se refiere, para la especie se ha reportado que presenta estrategia reproductiva tipo K, es un desovador de tipo asincrónico, el ovario puede presentar ovocitos en todos los estadios de maduración y puede ovular un grupo de estos en el momento de la reproducción, siendo este evento posible varias veces en el año

(Guerra *et al.*, 2002).

La temporada de reproducción de la especie tiene su pico en la época de lluvias, cuando se une una pareja de pirarucú antes de esta temporada si se le ofrecen las condiciones que ellos requieren, estos desovaran (Chu-koo *et al.*, 2008).



Ovario Inmaduro



Ovario en maduración

Figura 7. Izquierda ovario inmaduro en una hembra de 3 años. Derecha ovario en maduración; nótese los diferentes estados de maduración de la gónada, los de color verde oliva son los ovocitos maduros. Fuente: Carolina Franco

Desove.

Por las características de las gónadas, el pirarucú presenta un desove fraccionado (sólo madura un pequeño grupo de óvulos), alcanzando hasta 3 desoves por año. En lo referente a las áreas de desove, la mayoría de nidos se han encontrado a una profundidad de 1,5 m, en sustratos mayormente arcilloso-arenoso-fangoso (Campos, 2001). El número de óvulos a desovar dependerá del tamaño de la hembra, su edad

y estado nutricional (Fig. 7).

Comportamiento reproductivo y cuidado parental del pirarucú (*Arapaima gigas*) en cautiverio.

La época reproductiva del pirarucú en el Piedemonte Caqueteño se inicia en febrero y se extiende hasta junio (Fig. 8), época de alta precipitación (Franco y Atencio, 2010).

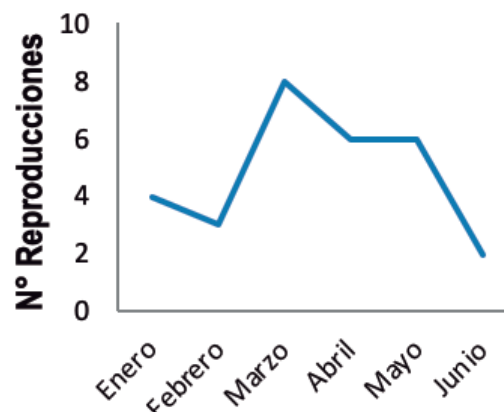


Figura 8. Reproducciones de pirarucú en cautiverio en Caquetá, años 2014-2017

Tabla 1. Histórico (número de reproducciones y alevinos) de *Arapaima. gigas* en el Caquetá

AÑO	Nº REPRODUCCIONES	Nº CRIAS/AÑO	PROMEDIO REPRODUCCIÓN
2001	1	210	210,00
2002	2	380	190,00
2003	4	2.118	529,50
2004	2	1.658	829,00
2005	0	-	-
2006	2	935	467,50
2007	1	723	723,00
2008	0	-	-
2009	3	3.870	1.290,00
2010	3	1.921	640,30
2011	3	2.450	816,70
2012	4	6.850	1.712,50
2013	4	2.486	621,50
2014	6	8.660	1.443,33
2015	9	13.856	1.539,56
2016	8	8.610	1.076,25
2017	10	19.580	1.958,00
TOTAL	62	74.307	936,48

En la tabla 1 se muestran el total de reproducciones de pirarucú y el número de alevinos producidos en el departamento del Caquetá en estanques de cultivo.

Manejo de reproductores.

Para lograr reproducciones de *A. gigas* en cautiverio se debe ofrecer a los reproductores de 5 años en adelante condiciones de espacio mínimas (400 m² por reproductor) y una nutrición adecuada en estanques con área no menor de 800 m² y no mayor de 1 hectárea para facilitar su manejo (Franco y Atencio 2010).

Estanques para manejo de reproductores de pirarucú.

Debido a que el pirarucú presenta respiración aérea se pueden utilizar represas naturales o seminaturales, lagunas y estanques piscícolas con bajo recambio de agua y niveles bajos de oxígeno disuelto, pero

manteniendo niveles adecuados de su calidad.

La profundidad del estanque puede ser variable, pero debe favorecer la ubicación y fabricación de los nidos los cuales se ubican en profundidades de 1-1,5 metros.

El estanque de los pirarucú inicialmente se debe acondicionar para la producción de peces forrajeros, llenándolo de agua agregando abundante abono orgánico y peces presa para garantizar suficiente alimento para los reproductores (ACUICA, 2014).

Alimentación.

El pirarucú se adapta con facilidad al consumo de concentrado; sin embargo, la alimentación de los reproductores se fundamenta en la provisión permanente de peces forrajeros vivos, especialmente sardinas (*Astyanax* sp.) y juveniles de Cíclidos, de esta forma se disminuyen los costos para la nutrición



Figura 9. Tipos de alimento utilizados en la dieta de reproductores de pirarucú. Izquierda alimento concentrado de tamaño adecuado, Derecha alimento vivo. Fuente: Autor

de los reproductores de *A. gigas*.

Cuando se utiliza concentrado este debe ser con formulación para peces carnívoros y tener como mínimo 40% de proteína, ser extrudizado y con un tamaño de pellet de mínimo 10 mm, suministrando de 1-1,5% de biomasa al día (Fig. 9). Cuando se utiliza alimento vivo se debe suministrar de 1 a 2% de biomasa al día, el tamaño de la presa debe ser proporcional al tamaño de la boca del parental suministrado semanalmente (ACUICA, 2014).

Marcación de los reproductores.

El proceso de marcación y registro de reproductores

de pirarucú se debe hacer para facilitar el seguimiento de los parentales y poder identificar cada individuo, logrando así establecer el desarrollo de ellos y cuál de estos se ha reproducido. La información de los muestreos posteriores permite monitorear a los reproductores obteniendo análisis detallados para optimizar la producción.

En la figura 10 se indica el proceso de marcación y registro de reproductores de pirarucú. Utilizando micro chips, los cuales se insertan en la región dorsal en la décima escama (contando desde la región cefálica hacia la caudal) en la margen derecha (Franco y Atencio, 2010).



Figura 10. Marcación y registro de reproductores de pirarucú.

Fuente: Hugo Franco y Eric Argumedo

Transporte de reproductores.

En lo posible se debe tratar de criar los reproductores en la misma finca para evitar traslados que pueden ser dispendiosos y de sumo cuidado; sin embargo, se han probado varios métodos de transporte con éxito cuando el tiempo del trayecto no supera las 2 horas. El más utilizado en distancias cortas es el método

seco húmedo, donde los reproductores se envuelven en una malla húmeda y se transportan en seco en la carrocería de una camioneta (Fig. 11). Esto es posible gracias al tipo de respiración que posee el *A. gigas* pero es indispensable mantenerlo húmedo durante el transporte para evitar problemas por resecación en piel y branquias que podrían perjudicar al ejemplar (Franco y Atencio, 2010).



Figura 11. Arriba transporte de reproductores en seco-húmedo, abajo transporte de reproductores en artesas de madera forradas con plástico. Fuente: Autor

Manejo de alevinos.

El comportamiento de los alevinos, al igual que las post-larvas es de agregación o formación de cardumen compacto al nadar, con agilidad en el desplazamiento, esto sugiere un comportamiento de autoprotección, ya que desde que emergen nadan alrededor de la cabeza del progenitor. Estos presentan una coloración oscura

(negro brillante) que va cambiando a medida que crecen a un marrón claro (Franco, 2005).

La fase entre alevino y juvenil constituye una de las etapas críticas en la producción de alevinos de pirarucú. Se ha observado que la elevada mortalidad se debe primordialmente a deficiencias en la disponibilidad y/o calidad de alimento natural y a la depredación por



Figura 12. Alevinos de pirarucú de 15 días (arriba) 35 días (abajo).

Fuente: Autor

aves y otros peces (Franco, 2005). (Fig. 12)

El proceso de levante de alevinos de pirarucú requiere un manejo especial, principalmente en los factores sanitario y nutricional, con el fin de garantizar una alta supervivencia y lograr obtener ejemplares saludables para los siguientes ciclos de vida. El uso de un laboratorio acondicionado con piletas en concreto, tanques plásticos y acuarios en donde las condiciones de cultivo pueden ser mejor controladas, favorecen el éxito en los resultados esperados.

Uno de los objetivos durante esta fase es conseguir la adaptación de los animales a la dieta con concentrado, realizada mediante un entrenamiento alimentario, ya que el pirarucú por ser un pez piscívoro no consume inmediatamente este tipo de alimento. Se ha reportado que *A. gigas* tiene que ser entrenado desde temprana edad a comer raciones balanceadas, pues en caso contrario el aprovechamiento de la dieta no es eficiente (Franco y Atencio, 2010).

Captura de Alevinos.

Se deben separar las crías de *A. gigas* del parental, una vez alcanzan 2-4 cm de longitud total (8-10 días de haber eclosionado). Se retiran la totalidad de los alevinos con el fin de determinar su número y se toman datos como peso y talla del 5% de la población; una vez se registran estos datos, se mantienen en piletas de concreto a una densidad de 1 alevino cada 2 litros y en

acuarios manteniendo 1 alevino cada 3 litros de agua. Condiciones controladas en el laboratorio, donde se debe instalar un termostato para mantener una temperatura estable de 28°C en el agua y se mantienen allí hasta que alcanzan la talla comercial de 15 cm en 45 días aproximadamente (Franco 2005).

Alimentación y entrenamiento alimentario.

Los alevinos se deben alimentar hasta la saciedad inicialmente con una dieta de zooplancton y Artemia salina, la cual progresivamente se va sustituyendo con alimento concentrado en polvo al 45% de proteína, lo cual facilita su manejo. La adaptación de alimento vivo a concentrado se debe realizar antes de que los alevinos tengan 12 cm de largo, debido a que en esta etapa aceptan con facilidad este tipo de alimento rápidamente (Franco, 2005).

Durante tres semanas se les suministra veinticuatro comidas diarias y a voluntad de una mezcla homogénea compuesta por 90 % zooplancton capturado en estanques de cultivo mediante el uso de redes y mallas de arrastre y 10% concentrado en polvo, esto teniendo en cuenta que la mezcla no quede saturada del alimento concentrado; adicional a esta preparación y como complemento alimenticio se les suministra artemia salina producida en laboratorio en una comida diaria y a voluntad.

A partir de la segunda semana el alimento balanceado

se incrementa al 20 o 30 % disminuyendo así el porcentaje en la cantidad de alimento vivo (zooplancton) y durante la tercera semana el concentrado se sigue aumentando hasta el 60%. Ya en la cuarta semana se debe estar suministrando 100% alimento comercial, el cual a medida que el tamaño de la boca del alevino lo permite se empieza a sustituir de alimento en polvo a alimento extrudizado de 1,5 mm al 45% de proteína. Este proceso se puede realizar en tanques bajitos de 500 o 1.000 litros de color azul con recambio de agua de 100% hora. En este sistema es posible incluso desarrollar la precría y mantener densidades de hasta 100 kg m³. (Fig. 13)



Figura 13. Fase final de alevinaje, Pirarucú de 300 gramos, 330 peces por m³. Fuente AITZ, Carlos Ramírez

Cultivo de Pirarucú en estanques

Los estanques para el cultivo de Pirarucú deben tener las condiciones mínimas utilizadas normalmente para un estanque de piscicultura como un sistema de evacuación total del agua, un desnivel de mínimo 5%, diques compactos, terreno arcilloso para evitar la filtración del agua, entre otras. Debido a las características del Pirarucú es posible desarrollar su cultivo en represas naturales o seminaturales, lagunas y estanques piscícolas con poco recambio de agua, ya que el Pirarucú, por poseer respiración aérea, no requiere de altas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua (ACUICA, 2014).

Precría.

Para iniciar el cultivo de Pirarucú en estanques piscícolas es necesario desarrollar una precría debido a que la talla comercial de alevinos de Pirarucú es de 15-20 cm, siendo vulnerables a los depredadores, principalmente aves en esta etapa. La precría se debe desarrollar en un estanque pequeño (máximo 400 m²) para facilitar su manejo, el cual debe estar cubierto por una malla anti

pájaro. Los recambios de agua se llevan a cabo una vez por semana en porcentajes del 15 al 20%.

La densidad de siembra recomendada es de 1-1,5 peces / m² los cuales ingresan con un peso promedio de 60 gramos, se deben alimentar hasta la saciedad con concentrado al 45% de proteína o con peces pequeños vivos o en trozos dos veces al día durante 45 días hasta que alcancen un peso promedio de 350-400 gramos y una longitud de 35 cm; momento en el que se da inicio a la etapa se ceba o engorde.

Ceba o engorde.

Existen varias metodologías para el engorde de pirarucú en estanques; con alimento concentrado al 40-45% de proteína, con alimento vivo utilizando peces forrajeros o la combinación de alimento vivo con concentrado. En esta etapa se recomienda utilizar estanques con áreas superiores a los 500m², los cuales presentan una mayor estabilidad térmica y biológica.

Se han desarrollado diversos trabajos en Brasil, Colombia y Perú con el propósito de implementar un método que permita producir de manera comercial la carne de pirarucú en sistemas controlados observando importantes diferencias de un trabajo a otro, concluyendo en que estas varianzas dependen de la calidad y cantidad del alimento suministrado, estos trabajos muestran el potencial zootécnico que posee la especie por su precocidad convirtiéndolo en una opción de importancia económica para los productores piscícolas. A continuación se exponen los resultados obtenidos de dichos trabajos de manera resumida los cuales han sido validados mostrando los métodos de mejor comportamiento en sistemas de cultivo practicados en la Amazonia, siendo posible su implementación y afinación en otras regiones (ACUICA, 2014).

Engorde con alimento concentrado al 40-45% de proteína

Este cultivo se desarrolla utilizando densidades de siembra de 1 pez/4-5 m², suministrando alimento concentrado al 40-45% de proteína obteniendo en 12 meses peces con un peso promedio de 10 a 12 Kg (Fig. 14), con una conversión alimenticia de 1,7-2. Esto nos muestra el rápido crecimiento y desarrollo de esta especie (Tabla 2) que comparada con otros peces como la Tilapia y la Cachama que en el mismo tiempo alcanzan solo 1,5 Kg (Pereira-Filho, 2002).



Figura 14. Ejemplares de pirarucú de 12 kg y un año de cultivo.
Fuente: Jorge Franco izq. y ACUICA der.

Tabla 2. Resumen análisis técnico de cultivo de pirarucú alimentado con concentrado.

Especie	Pirarucú (<i>Arapaima gigas</i>)
Densidad de Siembra	1 pez/4m ²
Cultivo	12 meses
Peso $\bar{x}$ inicial	300 g
Peso $\bar{x}$ final -vivo	10.300 g
Ganancia/día	28,6 g
Consumo total/Pez	17200 g
consumo día/pez	47,7 g
C.A	1:1,7
Área de los estanques	1200 m ²
No. peces sembrados	315
Tasa de Mortalidad	5,0%
peces muertos	15
total peces a cebados	300

Nota: en esta modalidad de cultivo es necesario que el estanque tenga un recambio de agua constante. El caudal depende del tamaño del estanque, pero se estima un recambio mínimo diario del 5% para que se remuevan los residuos nitrogenados (amonio y nitrito principalmente) y fósforo. De este modo es posible producir cerca de 25 toneladas de carne de pirarucú por hectárea cada 12 meses.

Engorde con alimento vivo.

El estanque donde se desarrolla este tipo de cultivo se debe adecuar para la producción de peces forrajeros utilizando abundantes fertilizantes orgánicos, sembrando el pez presa a una densidad de 2,5 peces/m². Cuando la población presa muestra signos de abundancia se deben sembrar los alevinos de

pirarucú. El estanque se debe abonar cada 15 días con fertilizantes orgánicos durante el periodo del cultivo en una cantidad de 50 gr/m², garantizando así la disponibilidad de alimento natural para los peces presa favoreciendo su proliferación, desarrollando una red alimentaria donde el pirarucú sea el último eslabón en este ecosistema. Este tipo de cultivo también es conocido como *acuicultura orgánica* (Fig. 15).

Este cultivo se desarrolla utilizando densidades de siembra de 1 pez/50m², suministrando alimento vivo (peces forrajeros, el más utilizado es la tilapia nilótica)

obteniendo en 12 meses peces con un peso promedio de 12-15 Kg (Tabla 3), con una conversión alimenticia de 1:4 (ACUICA, 2014).



Figura 15. Ejemplares de Pirarucú de 3 años y 40 kg cultivados en estanques con alimento vivo *ad libitum* en cultivos extensivos. Fuente: Autor

Tabla 3. Resumen análisis técnico de cultivo de pirarucú alimentado con peces forrajeros.

Especie	Pirarucú (<i>Arapaima gigas</i>)
Densidad de Siembra	1 Pez/50m ²
Cultivo	12 meses
Peso $\bar{X}$ inicial	350 gr
Peso $\bar{X}$ final -vivo	14350 gr
Ganancia/día	38,9 gr
Consumo total/Pez	56000 gr
consumo día/pez	155,5 gr
C.A	1:4
Área de los estanques	10000 m ²
No. peces sembrados	210
Tasa de Mortalidad	5,0%
peces muertos	10
total peces a cebados	200

Nota: el éxito en esta modalidad de cultivo es el suministro de abono quincenalmente al estanque de cultivo, de esta forma se garantiza la producción natural favoreciendo la proliferación de los peces forrajeros, alimento de los Pirarucú. El recambio de agua diario no debe superar el 5%. De este modo es posible producir cerca de 3 toneladas de carne de Pirarucú por hectárea cada 12 meses. La producción de carne es menor comparado con la ceiba de Pirarucú con concentrado, pero la inversión y rentabilidad será mayor en el método con alimento vivo, debido a que el alimento concentrado es muy costoso. Si este tipo de cultivo maneja densidades entre 5 a 20 metros cuadrados por pez y la disponibilidad de alimento vivo es limitada, en 12 meses se obtendrían peces con pesos de sólo 4 kg. Mostrando que este tipo de manejo se debe desarrollar solo cuando las condiciones de área y disponibilidad de peces forrajeros le permiten al productor aplicar esta metodología.

Engorde con alimento combinado 50% vivo-50% concentrado.

Este tipo de manejo se desarrolla de manera similar a la producción de carne con alimento vivo con la diferencia que se complementa la dieta con alimento concentrado al 40-45% de proteína y se puede aumentar la densidad de siembra. De igual forma

el estanque se debe adecuar para la producción de peces forrajeros de la misma forma que se describió antes.

Este cultivo se desarrolla utilizando densidades de siembra de 1 pez/10 m², obteniendo en 12 meses peces con un peso promedio de 12 Kg, con una conversión alimenticia de 1:4. (Tabla 4).

Tabla 4. Resumen análisis técnico de cultivo de pirarucú alimentado con 50% concentrado - 50% alimento vivo

Especie	Pirarucú (<i>Arapaima gigas</i>)
Densidad de Siembra	1 Pez/10m ²
Cultivo	12 meses
Peso $\bar{x}$ inicial	300 g
Peso $\bar{x}$ final -vivo	12300 g
Ganancia/día	33,3 g
Consumo total/Pez	48000 g
consumo día/pez	133,3 g
C.A	1:4
Area de los estanques	3000 m ²
No. peces sembrados	315
Tasa de Mortalidad	5,0%
peces muertos	15
total peces a cebados	300

Nota: como se mencionó anteriormente el manejo que se le debe dar a esta modalidad de cultivo debe ser similar al de alimento vivo donde el suministro quincenal de fertilizantes al estanque de cultivo, garantizara la producción natural favoreciendo la proliferación de los peces forrajeros que complementaran el alimento de los pirarucú.

El recambio de agua diario no debe superar el 5%. De este modo es posible producir cerca de 12 toneladas de carne de pirarucú por hectárea cada 12 meses. La producción de carne es menor comparado con la ceba de pirarucú con concentrado, pero la inversión y rentabilidad será mayor que el método con alimento vivo, debido a que la cantidad de alimento concentrado es menor (Fig. 16).

Este método de producción podría funcionar muy bien para productores que estén en la capacidad de producir a un bajo costo y en cantidades considerables peces forrajeros de bajo valor comercial que serían entonces

utilizados para alimentar a los juveniles de pirarucú en su cultivo, que al complementarse con el concentrado permitiría obtener ejemplares considerablemente de mayor tamaño y peso en menor tiempo.



Figura 16. Juveniles de Pirarucú de 12 meses cultivados con el método de alimentación combinada. Fuente: Autor

La elección del método a utilizar por parte del productor dependerá de sus condiciones de producción como infraestructura instalada, capacidad de producción de alimento vivo y disponibilidad de recursos para adquirir los alevinos y el concentrado, los cuales representan los mayores ítems de inversión.

Hay que tener en cuenta que la calidad del concentrados a utilizar para el cultivo de Pirarucú en cualquiera de sus fases debe tener una formulación especial para peces carnívoros los cuales tiene un requerimiento nutricional diferente al de la mayoría de peces de cultivo que generalmente son omnívoros. Por ello se debe tener especial cuidado en la selección del tipo de concentrado a utilizar y en el tamaño del pellet que debe corresponder al tamaño de la boca del ejemplar que lo consumirá (ACUICA, 2014).

Beneficio y poscosecha

Proceso de sacrificio de Pirarucú.

1. Se sacrifica cortando la primera vértebra cervical (Fig. 17)

2. Se cuelgan de la cabeza para que la sangre se concentre en la región caudal.

3. Se le corta la cola para que se desangre, evitando además la presencia de sangre en la carne.

4. Se procede a descamar el pez, este proceso tarda mucho tiempo si no se utiliza una sierra eléctrica, pues tradicionalmente se utiliza un machete invertido o unas pinzas, donde se retira escama por escama.

5. Luego se hace una gran incisión en la región ventral retirando la totalidad de las vísceras.

6. Posteriormente se congela entero durante 24 horas.

7. Ya congelado se procede a cortarlo en rodajas con una sierra eléctrica.

8. Esta carne en rodajas es una de las presentaciones comerciales y puede conservarse hasta por 3 meses a -30°C .



Figura 17. Proceso sacrificio de Pirarucú. A. Sacrificio, corte primera vertebra cervical. B. Se cuelga para acumular sangre en la región caudal. C. Se corta la cola para desangrar. D. Escamado. E. Presentación carne en canal de Pirarucú. Fuente: ACUICA

La cabeza del Pirarucú también se puede comercializar como hueso de pescado, aunque sólo representa un 10% del peso total del animal. Las escamas también tienen demanda para el mercado artesanal, lo que hace que el Pirarucú sea aprovechable casi en su totalidad.

Composición de la carne de Pirarucú.

Desde tiempos remotos esta especie ha sido aprovechada por los nativos de la selva como uno de los productos indispensables para su alimentación, ya que su carne tiene un alto valor nutritivo (Tabla 5).

Tabla 5. Composición de la carne de pirarucú (*Arapaima gigas*). Sánchez (1994) en Rebaza *et al.* (1998)

COMPOSICIÓN	%
Humedad	35,0
Proteínas totales	36,5
Grasa bruta	1,6
Carbohidratos	2,4
Sales Minerales	24,5
Calorías	147,8

Rendimiento de carne en canal de pirarucú.

Al sacrificar un pirarucú y despojarlo de vísceras, escamas y aletas se pueden obtener rendimientos de carne en canal mayores que los que presentan otras especies de peces. Individuos que se pesan con cabeza, los rendimientos encontrados superan el 80% con respecto al peso vivo del animal. Para el caso en

que se retira la cabeza los rendimientos son mayores del 70% (Tablas 6 y 7).

Esto muestra claramente el alto porcentaje de rendimiento de la carne en pirarucú lo que lo convierte en una gran opción para la industria piscícola de consumo.

Tabla 6. Rendimiento de carne de pirarucú en canal.

W	Sin Cabeza	%	Con Cabeza	%
total	7580	100	8800	100
carne	5440	71,8	7410	84,2
escamas	550	7,3	590	6,7
cabeza	570	7,5		0,0
vísceras	650	8,6	570	6,5
aletas	200	2,6	60	0,7

El pirarucú una vez sacrificado permite su porcionamiento en diferentes presentaciones como se muestra en la figura 18. En este caso se realizó el rendimiento de carne deshuesada de pirarucú sin piel obteniendo los datos de la tabla 7 que muestra un

rendimiento del 59,5% de carne con respecto al peso vivo de los cuales el 46,7% corresponde a la porción del lomo, el 28,7% a los filetes y el 24,6% a la pechuga (ACUICA 2014).

Tabla 7. Rendimiento de carne deshuesada en canal de pirarucú sin piel.

	PESO VIVO	PESO CARNE	LOMO	FILETE	PECHUGA
Kg	20,5	12,2	5,7	3,5	3
%	100	59,5	46,7	28,7	24,6

Este tipo de beneficio permite abrir nuevas puertas de comercialización hacia mercados y públicos más exigentes, que además de generar valor agregado

permite expandir nichos de producción y mercadeo con potencial exportador.

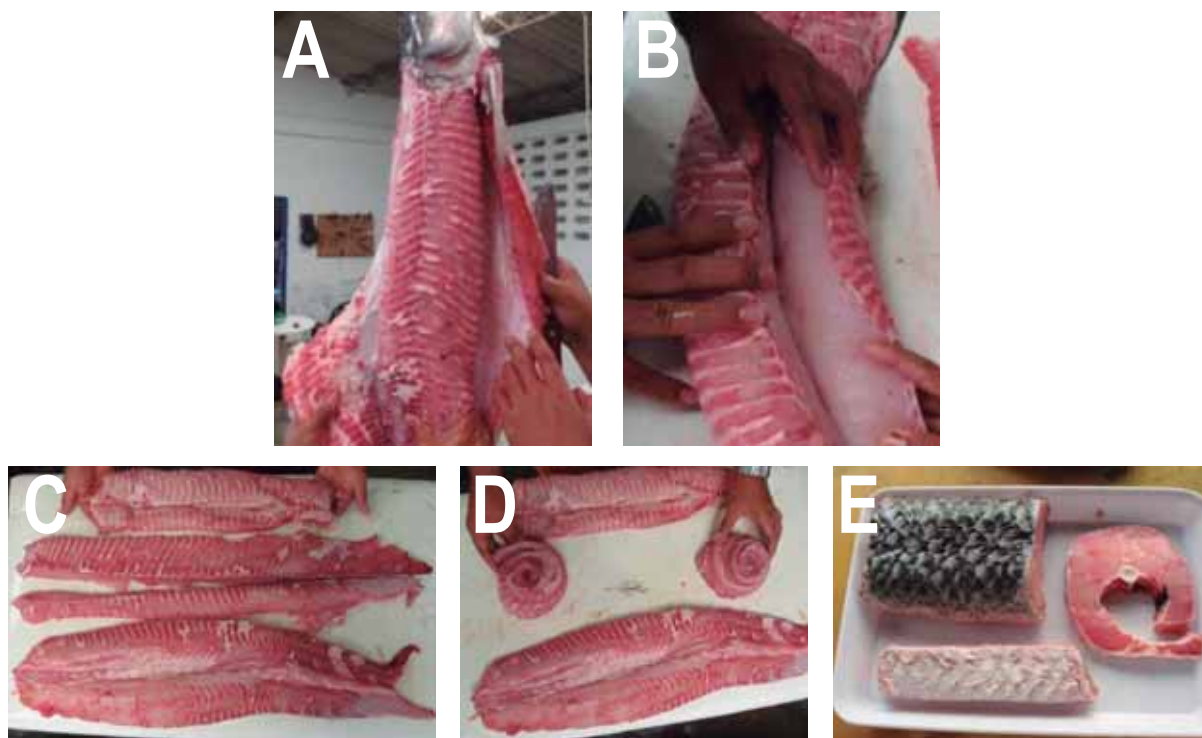


Figura 18. Diferentes presentaciones comerciales de carne de Piracú. A. Retiro de piel. B Separación del lomo y filete. C y D (arriba hacia abajo) pechuga, filetes y lomo. E. Lomo, rodaja y filete con piel. Fuente: Autor

Especies del género *Brycon*

Generalidades

El género *Brycon* incluye más de 60 especies de peces de agua dulce y están distribuidos en Centro y Sur América (Howes, 1982). La Dorada *Brycon moorei* (Steindachner, 1878) de la cuenca del río Magdalena y el yamú, *Brycon amazonicus* (Spix y Agassiz, 1829) de la cuenca del río Orinoco y Amazonas, son las especies de brycónidos (Fig.19) más comunes para la piscicultura en Colombia dado su hábito alimenticio omnívoro (Arias 1995, Bernal 1997, Useche *et al.*, 1993), su crecimiento rápido y la gran eficiencia alimenticia con raciones con bajos niveles de proteína de origen vegetal (Arias 2001, Lopez *et al.*, 2004), óptima calidad de su carne (Cifuentes, 1999) y sus especiales características para la pesca deportiva y control de reproducción cuando son usados en policultivo con tilapia en estanques en tierra, incluso en geomembranas.



Figura 19. De arriba hacia abajo: *Brycon amazonicus*, *B. moorei*, *B. melanopterus* y *B. hilarii*. Fuente: Autor

La distribución altitudinal de la especie se delimita entre los 50-500 m.s.n.m. (Arias, 2002) dado su requerimiento de aguas cálidas con rangos de temperatura de 26-30 °C; estas aguas deben contener

O₂ disuelto entre 4-7 mg/L, un pH entre 6-7 y una dureza de 15-45 mg/L (Arias, 1995, Arias, 1994).

Tanto en el ambiente natural como en confinamiento, los ovarios y testículos maduran una sola vez al año de manera sincrónica por grupos, al inicio de las lluvias (marzo - abril). Si bien en condiciones confinadas es posible encontrar hembras reproductivamente maduras al segundo año de vida, en el medio natural éstas maduran al tercer año (Arias, 2002).

Las poblaciones naturales contienen hembras y machos en proporciones de 1:1,5, sin caracteres sexuales secundarios y con tallas de primera maduración sexual en hembras de 28 cm de longitud estándar (Arias, 1995; Hurtado y Useche, 1986).

Piscicultura

La producción del yamú en cautiverio, como la de cualquier otra especie de pez, implica por una parte la reproducción confinada y por otra el cultivo como tal. En relación con la reproducción en cautiverio la especie ha sido estudiada con énfasis en la utilización de hormonas para la inducción a la reproducción y el control del canibalismo en las primeras etapas del desarrollo, con resultados satisfactorios que se presentan más adelante.

Reproducción inducida

Los criterios que se aplican para la preselección de reproductores para inducción reproductiva son los tradicionales: abdomen prominente y papila genital rojiza y protruida en las hembras (Fig. 20) y emisión de semen a leve presión abdominal en los machos. De las hembras preseleccionadas se escogen las más maduras, lo cual se documenta mediante el examen de una muestra de ovocitos obtenidos por medio de biopsia ovárica, midiendo el diámetro (Arias *et al.*, 2004) y se establece el grado de maduración final a través de la migración nuclear (Woynarovich y Horvath, 1983). Se recomienda tener como referencia para seleccionar hembras óptimas, aquellas que posean ovocitos con diámetro promedio igual o mayor a 1.100 µ y cuyos núcleos se encuentren migrando en un 50% o más (Arias, 2002).

En confinamiento la especie conserva su época y periodo de reproducción como en el ambiente natural, dependiendo del ciclo hidrológico. La reproducción se inicia cuando ha comenzado la estación de lluvias en la región, por lo general en el mes de abril para el yamú y septiembre para la dorada y tiene una duración relativamente corta de 80-90 días (Arias, 2002 y Lugo, 1989).



Figura 20. Hembra de dorada en fase final previa a la ovulación. Fuente: Autor

El inductor recomendado para la reproducción en cautiverio es el extracto de hipófisis de carpa (EHC), en protocolo estándar: 0,5 mg/kg p. v., intervalo de 12 horas, 5 mg/ kg p. v. (Landines, 1995 y Pardo *et al.*, 1998). Otros inductores sintéticos que se han probado en la especie con protocolo estándar, como el Ovaprim y Gestar no han producido los resultados esperados (Arias *et al.*, 2004).

En las hembras, la respuesta al inductor o tiempo de latencia (tiempo entre la última aplicación hormonal y la ovulación) es de 6 - 7 horas a una temperatura de 26 - 27 °C (Arias, 2002 y Cruz *et al.*, 2004). El desove se realiza por estrujamiento durante la hora siguiente a la ovulación (la viabilidad de los óvulos dentro del ovario decrece vertiginosamente a partir de los 60 minutos), obteniéndose en promedio 135 g de óvulos/hembra y fecundidad reproductiva de 270.000 óvulos/reproductora (Pardo *et al.*, 1999).

En los machos el semen también se obtiene por estrujamiento. En respuesta a los inductores estos aumentan el volumen seminal hasta 8,2 - 12,7 mL/macho, cada mililitro con una concentración de $4,864 - 8,679 \times 10^6$ espermatozoides, y valores del espermatocrito de 7,1 - 13,6 % (Arias *et al.*, 2004).

La fecundación se practica en seco durante los 30 minutos siguientes a la obtención de los gametos (la viabilidad de los óvulos estrujados es de $1 \text{ h} \pm 0,5$ y la viabilidad espermática pos estrujamiento de $2 \text{ h} \pm 0,5$), en ambos casos a 32 °C, requiriéndose 50.000 espermatozoides móviles por óvulo. La activación espermática (fertilización) se realiza con agua natural dispuesta para la incubación o solución de bicarbonato de sodio al 1% (Cruz, 2002).

La incubación se efectúa en incubadoras tipo cónico de 2 a 200 litros (flujo de 0,2 a 2 L/s). La fertilidad, medida al momento del cierre del blastoporo, alcanza 70 - 80% a las seis horas posfertilización (h.p.f.), la sobrevivencia embrionaria es del 65 % medida a las

10 h.p.f., en ambos casos en un rango de temperatura de 25,5 - 27,2 °C, pH de 6,2 - 6,7 y O₂ disuelto de 5 - 6 mg/L.

La eclosión se produce a las $12,5 \text{ h} \pm 0,6$ de incubación a $27,5 \text{ °C} \pm 0,2$. El desarrollo embrionario es rápido, presentando seis estadios (ovocélula a las cero h.p.f.; primer clivaje a las 0,6 h.p.f.; discoblástula a las 2 h.p.f.; gástrula a las 5 h.p.f.; organogénesis a las 7 h.p.f.; eclosión a las 12,5 h.p.f.) (Pardo, 2001; Clavijo y Arias, 2004). La sobrevivencia de los parentales posdesove llega al 75 % cuando son atendidos con baños largos de cloruro de sodio al 2% durante seis horas antes de ser devueltos a los estanques (Arias, 2002).

Criopreservación de gametos

Estudios sobre aspectos de la criopreservación de semen de la especie han arrojado, entre otros, los siguientes resultados: el mejor diluyente encontrado hasta el momento consiste en una solución de glucosa 5,5% peso/volumen (p/v) y yema de huevo 12% volumen/volumen (v/v) y como crioprotector DMSO (10% v/v) (Cruz y Velasco, 2004). Experimentos con diferentes volúmenes de congelamiento (0,5, 2,5 y 4,0 mL), mostraron que pajillas de mayor volumen son tan eficientes para conservar semen como las micropajillas. La temperatura de descongelación más apropiada es de 35 °C durante 5 minutos. Se requieren 75.000 espermatozoides móviles de semen conservado por óvulo para obtener fertilización del 65% (Cruz *et al.*, 2004).

Larvicultura

La mayor parte de los productores de alevinos se limitan a la siembra de las larvas en estanques en tierra entre las 24 - 36 horas poseclosión (h.p.e.), sin un manejo previo bajo condiciones vigiladas. La larvicultura, como cultivo de larvas en condiciones controladas, es descrita para esta especie por varios

autores (Atencio *et al.*, 2003 y Arias *et al.*, 2004), pudiéndose destacar lo siguiente:

Se puede efectuar en incubadoras o tanques cilíndricos hasta por 60 h.p.e. (poco antes de la reabsorción completa del saco vitelino). El canibalismo, muy acentuado durante el cultivo larval se inicia a las 36 h.p.e., siendo posible aumentar la sobrevivencia en un 20 - 30% cuando se mantiene una densidad de 50 larvas/L en agua con temperatura de 27-28°C, pH de 6,8-7,2, y se alimenta por primera vez a las 32 h.p.e (Atencio, 2000).

Las fuentes experimentadas como primera alimentación durante 24 horas son: náuplios de *Artemia salina*, plancton silvestre seleccionado por tamaño y poslarvas de otros peces como *Piaractus brachipomus* (cachama), ofrecidos los dos primeros, al menos en seis ocasiones a intervalos de 4-5 horas; y el tercero una sola vez a las 32 h.p.e. Los resultados muestran 70%±6, 61%±4 y 19%±6 de sobrevivencia a las 60 h.p.e. cuando son alimentadas con poslarvas de cachama, náuplios de *A. salina* y plancton silvestre respectivamente (Atencio *et al.*, 2003).

El uso de la hormona del crecimiento Triyodotironina (T3) aplicada a las hembras al momento de la aplicación de la primera dosis hormonal inductora, con el propósito de atenuar el canibalismo, ha mostrado que esta hormona no aumenta la sobrevivencia larvaria, pero las larvas a las 60 h.p.e. son de talla más homogénea, lo que podría disminuir el canibalismo en la etapa de alevinaje (García *et al.*, 2004).

Alevinaje

Las larvas cultivadas en condiciones controladas a las que se les ha proporcionado primera alimentación, pueden ser criadas en estanques en tierra previamente preparados como lo propone Arias (2001). Los resultados obtenidos cuando son sembradas a densidad de 50 larvas-poslarvas/m² de espejo de agua, a la edad de 60 h.p.e. y alimentadas con concentrado pulverizado para peces del 45% de proteína bruta, ofrecido a voluntad tres a cinco veces/día, siete días a la semana, a partir del cuarto día de la siembra, han arrojado resultados de sobrevivencia del 33% a los 12 - 15 días de alevinaje. Los alevinos obtenidos son generalmente heterogéneos, con longitud total de 29 mm ± 10 (Atencio *et al.*, 2003 y Rodríguez *et al.*, 2014).

Nutrición

Los trabajos en aspectos nutricionales para yamú apenas empiezan, pero ya muestran resultados sorprendentes

en cuanto a los requerimientos de la especie y las relaciones entre nutrientes. En experimentos con dietas semipurificadas de 17, 21 y 25% de proteína y 2,6, 2,9 y 3,2 Kcal de energía digestible/g, la relación que produjo el mejor crecimiento fue la de 21% de proteína con 3.2 kcal/g (Salinas *et al.*, 2001).

Cultivo

Las condiciones de cultivo son similares a las utilizadas para otras especies nativas como la cachama (Cruz *et al.*, 2000). Las diferentes actividades propuestas para el monocultivo de la especie son: densidad de siembra de 1 – 1,5 individuos/m² con reposición de agua por infiltración y evaporación, alimentación con raciones comerciales para peces o mezclas de granos que contengan 24 - 30% de proteína bruta y suplementación alternativa con hojas y frutos.

Las raciones pueden ser administradas diariamente en cantidades correspondientes al 3% de la biomasa, dos veces al día, 6 días a la semana. En las condiciones anteriores se han logrado conversiones alimenticias entre 1,4 – 1,6 en tiempo de cultivo de 4 – 6 meses, cosechando animales entre 400 - 600 g (Peñaloza *et al.*, 2001). En policultivo su rendimiento mejora hasta un 20% al igual que la producción de las especies acompañantes (Arias *et al.*, 2000).

Actualmente el mayor uso tanto del yamú como de la dorada es en policultivo con tilapia roja y negra en estanques en tierra para cultivos intensivos, siendo utilizados como controladores de su reproducción, siendo sembradas de 1-2 gramos cuando las tilapias alcanzan los 50 gramos a una densidad de 2.000 - 5.000 especímenes de brycon por hectárea, dependiendo de las condiciones de recambio de agua y aireación que se cuenten en el sistema de cultivo. Cuando se cosechan las tilapias (7 meses después) de 400-600 gramos, los yamú o doradas pueden alcanzar los 1,2-1,5 kg.

Estos últimos no se tienen en cuenta en el suministro del alimento concentrado, ya que aunque es evidente que lo consumen, su dieta principal en este tipo de cultivo son las larvas y alevinos de las tilapias.

Silúridos

Generalidades

Los silúridos es un orden de peces de gran importancia para la economía de muchas regiones en el mundo, su distribución es muy amplia al igual que su variedad de formas; siendo el grupo de mayor importancia en América latina después de los carácidos, con

alrededor de 300 especies clasificadas en 55 géneros (Galvis *et al.*, 1997); para Colombia, Cala *et al.* (1996) reportaron la presencia de 12 familias. Morfológicamente los silúridos son peces de piel desnuda, sin escamas o con placas óseas y cuerpo aplanado, adaptados principalmente a los fondos de los ambientes acuáticos. Poseen barbillas en el mentón y en los maxilares con función sensorial y aletas dorsales y pectorales provistas de espinas defensivas.

Bagre rayado

A los peces del género *Pseudoplatystoma* se les considera una de las especies más apetecidas comercialmente de América del Sur, debido a la calidad de su carne, tamaño e importancia histórica de su pesquería. Este género posee especies distribuidas en las principales cuencas hidrográficas del continente, con excepción de las cuencas del Pacífico.

Este bagre alcanza 1 metro de longitud, alcanza su edad de madurez gonadal en alrededor de 2- 2,6 años y posee un ámbito principalmente piscívoro (Núñez *et al.*, 2011). La producción pesquera y consecuente oferta vienen reduciéndose cada año debido al creciente esfuerzo pesquero, indicando una situación de sobreexplotación. Esto es aplicable prácticamente a todos los países de América Latina en los que se encuentra presente. La degradación de su ambiente nativo, causado por la construcción de represas y contaminación de los ríos, junto con la intensificación de la pesca son los principales factores que contribuyen a la reducción de las poblaciones naturales de *Pseudoplatystoma* (FAO, 2010).

Las hembras alcanzan mayor porte que los machos en la naturaleza y también presentan una mayor ganancia de peso al compararlas con machos en condiciones de cultivo (Fig. 21).



Figura 21. Ejemplar adulto (hembra) de bagre rayado. Fuente: Autor

Según la FAO (2010) y Núñez *et al.* (2011), el bagre rayado, conocido anteriormente como *Pseudoplatystoma fasciatum*, ha cambiado su nombre a *Pseudoplatystoma punctifer*; sin embargo, recientemente su caracterización hereditaria indicó que no había diferenciación genética entre las dos especies descritas en la Amazonía boliviana y peruana (Misma base genética), esto se evidenció a partir del trabajo de revisión filogenética realizado por Torrico *et al.* (2009), y cuyas especies fueron descritas por Suárez y Burr (2007); por lo cual Castro (2010) añade que estas especies son sinónimas. Asimismo, Suárez y Burr (2007) también describen a esta especie simpátrica en la cuenca amazónica con *Pseudoplatystoma tigrinum*.

Salinas y Agudelo (2000) además articulan que existen registros fósiles de peces y quelonios que indican que la fauna de la cuenca amazónica también

se presentó en la cuenca del río Magdalena; en donde *Pseudoplatystoma fasciatum* y/o *punctifer* también se encuentra distribuido y tiene gran presión antrópica (Peña, 2011).

Mantenimiento y manejo de los reproductores

Los padrotes son mantenidos en estanques en tierra sembrados a una densidad de siembra adecuada (0,5 kg/m² ó 1 Pez/10m²) para que los mismos tengan las condiciones favorables que les permitan alcanzar los estados de madurez adecuada para los procesos de inducción.

Los parentales son alimentados con peces forrajeros nativos como Cíclidos (*Bujurquina* sp) y Sardina de laguna (*Astianax* sp) a una tasa correspondiente al 1% de la biomasa al día.

Para que los reproductores alcancen la madurez adecuada se les ofrece un manejo medioambiental en los estanques que consiste en manipular distintos niveles de recambio de agua a espera de mantener o alterar las condiciones fisicoquímicas del agua según se requiera.

Reproducción

Esta especie madura en cautiverio durante la temporada de lluvias, con una estacionalidad de sólo tres meses. Normalmente las hembras desovan una vez al año. Pero una misma hembra bien alimentada puede alcanzar a desovar dos veces dentro de la misma temporada de maduración.

Estos bagres poseen alta fecundidad, produciendo gran cantidad de huevos de pequeño diámetro, libres, semiflotantes y con bajo nivel de adhesión.

Características externas indicadoras del grado de madurez sexual:

- Hembras: vientre flácido y distendido, región urogenital prominente y de color rosado.
- Machos: con leve presión abdominal liberan semen.

Una vez seleccionados los reproductores se sugiere marcarlos y ponerlos en estanques circulares, de paredes lisas, de 1000 L de capacidad con recambio continuo de agua y con aireación moderada. Los machos y las hembras se acondicionan en estanques por separados. Antes de proceder a la inducción hormonal para asegurar el grado de maduración de las hembras se procede a realizar una biopsia ovárica.

Para las hembras: Se utiliza una dosis total de 5 mg/KPV de Extracto de hipófisis, aplicándola de la siguiente manera:

- Una primera dosis que corresponde al 10% de la dosis total.
- El 90% restante se inocula luego de 12 horas de haber recibido la primera dosis.

Para los machos: Se utiliza una dosis de 5 mg/KPV y se aplica una sola inyección hormonal correspondiente a la dosis total, coincidiendo con la primera o segunda inoculación de las hembras. La preparación incluye pesar la hormona y macerarla en un recipiente (mortero de porcelana), diluirla con solución fisiológica (1cc). Se puede utilizar también:

- **Ovaprim:** 0,3 a 0,5 m/KPV en dosis única tanto para hembras como para los machos. El lugar de preferencia para la aplicación hormonal es en la base de la aleta dorsal por vía intramuscular. Se puede aplicar también vía intraperitoneal en la base de las aletas pectorales.

- **Desove:** Para el desove de los peces se utiliza el método de extrusión en seco en cual consiste en la extracción de los productos sexuales de forma artificial y posterior fecundación in vitro. Este ocurre entre 8 y 9 horas (240-280 horas grado) después de la última dosis hormonal, de acuerdo a la temperatura.

- **Incubación:** Para el proceso de incubación se sigue la técnica descrita por Woynarovich que consiste en incubadoras de flujo ascendente con recambio continuo de agua.

Larvicultura

Consiste en el paso de larva a post-larva y se caracteriza por la reabsorción del saco vitelino. Este proceso se realiza en incubadoras de 200 litros, de flujo ascendente con recambio continuo de agua. Este proceso está en función de la temperatura y puede tardar hasta 15 días dependiendo de la temperatura del agua. Esta es la fase crítica en esta especie, ya que se presenta un alto canibalismo y por ende baja supervivencia.

La alta tendencia al canibalismo por parte de los bagres es uno de los factores que más repercuten en forma negativa la sobrevivencia de esta especie, la razón a esto es su alimentación preferencialmente piscívora lo que atribuye a una amplia apertura bucal y dientes a una edad temprana. Usualmente este factor de canibalismo se asocia con la variación de tamaño inducida por la disponibilidad del alimento, densidades altas y ambientes con predominante luminosidad. Se deben dar ocho raciones (día y noche) diarias de alimento para evitar el canibalismo.

Alimentos de alta palatabilidad. Yema de huevo, rotíferos y nauplios de Artemia. Se mantienen en las incubadoras hasta desarrollar pigmentación y con una talla aproximada de 20 mm momento en el cual se transfieren a estanques en tierra.

Alevinaje

Consiste en el paso del estado de postlarva a alevino se realiza en estanques de tierra de 2 metros de profundidad previamente abonados, sembrados a una densidad de 50 postlarvas/m². Los estanques deben ser sembrados con larvas de especies forrajeras como *Leporinus*, *Prochilodus*, *Colossoma*, entre

otros. Se debe sembrar durante el primer “bloom” de zooplancton; cladóceros son el alimento ideal en esta fase. Fitoplancton y zooplancton deben cuantificarse constantemente y fertilizar adicionalmente en caso de ser necesario.

La cosecha es a los 30 días, cuando alcanzan los 5-6 cm (Fig. 22). La mortalidad depende de la población



de zooplancton al momento de la siembra, el clima, la predación por larvas de insectos (libélulas). Adicionalmente se suministra alimentación nocturna, 6 a 8 veces en los primeros 20 días, distribuida uniformemente en todo el estanque. A los 20 días después de sembrar se debe hacer una pesca y clasificación de peces por tamaño, retirando los peces mayores, los cuales serían los caníbales.



Figura 22. Talla comercial de alevinos de bagre rayado

En esta primera fase de alevinaje un porcentaje de alevinos inicia su adaptación al alimento comercial. Sin embargo es necesaria una segunda fase, la cual se realiza en tanques plásticos o de concreto con

recambio de agua de un 200% al día realizando el entrenamiento alimentario final, el cual toma hasta 45 días y se describe en la tabla 8.

Tabla 8. Alimento durante entrenamiento alimenticio de *Pseudoplatystoma* (adaptado de FAO, 2010).

Días	Alimento húmedo	Alimento seco
	%(carne o pez)	% (comercial en polvo)
0 – 7	80	20
7 – 14	60	40
14 – 21	40	60
21 – 28	20	80
28 – 45	0	100

Los juveniles deben ser suplementados con complejo vitamínico mineral durante 4 a 6 semanas y con un tamaño de pellet adecuado.

Precría

La tasa de sobrevivencia durante la precría, mejora en la medida en que los juveniles se acostumbran al

consumo de alimento comercial flotante. La talla de traslado de los juveniles a este sistema de mínimo 9 cm y tarda 60 días hasta que los peces alcanzan los 300 gramos. Debido a sus hábitos nocturnos, la producción de alevinos debe realizarse en ambientes oscuros.

Los alevinos y juveniles de *Pseudoplatystoma* son extremadamente susceptibles a aves predatoras

durante el día, por lo que deben ser protegidos hasta finalizar esta fase.

Engorde

Se utilizan estanques en estanques de tierra o represas de 500 m² hasta 10.000 m² con profundidades de hasta 2,5 m. se utiliza alimento extruido al 40% de proteína formulado para peces carnívoros. El tamaño del pellet varía desde los 3 mm hasta los 25 mm de acuerdo con el tamaño de los peces y la tasa de alimentación final para el engorde es del 1,5% de biomasa al día y una conversión alimentaria aparente que varía entre 3 y 4 (CAA 3-4) de acuerdo con la calidad del alimento.

Iniciado fase de engorde con peces de 300 gramos en 18 meses de cultivo se obtienen peces de 2,5-3 kg. Esta especie alcanza densidades finales de 4000-5000 kg/ha en estanques de tierra (sin aireación y poco recambio de agua), 8000-14000 kg/ha con aireación y recambio (5-10% de agua/día) (FAO, 2010).

Híbridos

La implementación de especies híbridas dentro de sistemas piscícolas ha tenido un gran auge; debido a la generación de animales estériles con mejores resultados en cuanto a rendimiento y adaptación a dietas inertes que sus parentales; *Pseudoplatystoma sp* ha sido hibridado con *Leiarius marmoratus*, y otras especies principalmente pertenecientes a la familia Pimelodidae a la cual este pertenece (Núñez *et al.*, 2011 y Méndez *et al.*, 2012).

Según Tallarico (2012) países como Brasil mantienen su producción de carne de bagre basados en la hibridación de 2 especies de bagre (*Pseudoplatystoma corruccans* x *Leiarius marmoratus*), pues las características para producción (como aumento de la tasa de crecimiento, mejor calidad de la carne, resistencia a enfermedades, capacidad de tolerar variables ambientales, conversión alimentaria, facilidad a la adaptación a raciones comerciales) propias de un híbrido suelen ser mejores que las de sus parentales puros. Solo el estado de Mato Grosso en Brasil produce más de 60.000 toneladas de carne de bagre híbrido.

Bocachico

Generalidades

Los peces del género *Prochilodus* están entre los grupos que tienen mayor distribución y abundancia en los ríos Latinoamericanos, en los países de Colombia, Perú, Venezuela, Bolivia, Argentina, Uruguay, Paraguay y Brasil, contabilizando un total de 13 especies. Las especies de *Prochilodus* poseen un papel muy importante en la cadena alimenticia, siendo la principal presa de peces carnívoros. Las larvas y juveniles de *Prochilodus* se alimentan de zooplancton, mientras que los adultos poseen un hábito alimenticio bentófago y detritívoro, tienen una boca protráctil que se proyecta y forma junto con los labios un disco oral con pequeños dientes, que son usados para el ramoneo de detritos.



Figura 23. Ejemplar adulto de bocachico.

El bocachico es producido en acuicultura únicamente en régimen de policultivo, debido a que no se han diseñado alimentos apropiados para sus dietas. Existe dominio de las técnicas de reproducción y producción de alevines similar a la de otros reofilicos como la cachama y brycónidos.

El bocachico *Prochilodus magdalenae* (Fig. 23) es la principal especie de la pesquería continental colombiana; en la Cuenca del río Magdalena en 1978 su captura se estimó en 38.000 ton (Barreto y Mosquera, 2001); pero 34 años más tarde, en 2013, la captura registrada para esta cuenca fue sólo de 1001,9

ton (De la Hoz *et al.*, 2013); indicando una reducción de 97% en ese periodo de tiempo. Esta situación condujo a que fuera declarada como una especie que enfrenta un riesgo extremadamente alto de extinción en el futuro inmediato (Mojica *et al.*, 2012). Entre las causas de esta drástica disminución se señalan el deterioro ambiental de su hábitat ocasionado por la contaminación orgánica e inorgánica, desecación de las ciénagas, construcción de hidroeléctricas, así como la sobrepesca (Atencio, 2000).

Esta especie también ha sido considerada como alternativa para la piscicultura extensiva y semi intensiva por las ventajas que representa su régimen alimentario detritívoro. Su cultivo se realiza a densidades menores de 1 pez/m², siendo común en policultivos con especies omnívoras como la cachama negra *Colossoma macropmum*, cachama blanca *Piaractus brachypomus* y las tilapias *Oreochromis sp.* Su cultivo se estimó en el año 2000 en 1474 toneladas (Barreto y Mosquera, 2001), convirtiéndola en la cuarta especie más cultivada en Colombia; sin embargo no existen registros oficiales de la producción de alevinos de esta especie, considerándose Córdoba y Atlántico

como los departamentos con mayor capacidad de producción de alevinos de bocachico.

Cultivo

Para su cultivo se recomienda hacer una precria larga, si se compara con las de otras especies que normalmente tarda de 45-60 días. Con bocachico la precria debe ser de 120 días, aproximadamente, hasta cuando los peces alcancen los 150 gramos. Se realiza en monocultivo con una densidad de siembra de 2-4 peces/m², dependiendo el nivel de recambio de agua o el suministro de aireación mecánica en horas de la noche, se alimentan con concentrado al 45% de proteína; en polvo los primeros 90 días y luego se cambia a extrudizada los siguientes 30 días con una biomasa del 7% al día. Luego se trasladan al estanque de engorde como especie acompañante en una proporción de 10:1(10 alevinos de la especie principal por 1 bocachico) junto con los alevinos recién sembrados de tilapia o cachama y al final del ciclo se cosecha la especie principal entre los 400-600 gramos y los bocachicos de 400-500 gramos.

Referencias

- Argumedo, E. (2005). Arawanas. Manual para la cría comercial en cautiverio. Asociación de Acuicultores del Caquetá (ACUICA). Florencia. Pp. 19-83
- Arias C., J. A. (1994). Abióticos del Medio Río Meta. Rev MVZUniLlanos. 1:32-35.
- Arias C., J. A. (1995). Contribución al conocimiento biológico de los peces de los Llanos, yamú (*Brycon siebenthalae*) y sapuara (*Semaprochilodus laticeps* cf.), con fines de cultivo. Informe final de investigación. UniLlanos-Colciencias; Villavicencio. 63p.
- Arias C., J. A. (2001). El cultivo del yamú. 2da Ed Juan XXIII. UniLlanos-IALL-IIOC. Villavicencio.
- Arias C., J. A. (2002). Biología reproductiva del yamú *Brycon siebenthalae* (Teleostei, Characidae) en cautiverio. Tesis de doctorado, Universidad del Valle, Cali, 112p.
- Arias C.J.A., Aya, B.E. y Velasco, S.J. (2004). Inducción reproductiva de yamú con Ovopel©. II Congreso Col Acuicultura; Villavicencio. Pp. 131.
- Arias, C.J.A., Aya, B.E. y Vásquez, T.W. (2001). Reproductive biology of the yamú *Brycon siebenthalae* (Characiforme: Characidae) of the Meta River, Colombia. Aquaculture 2001, Orlando, Florida, USA. 28 p.
- Arias, H., Luque, J. A. y Landines, M. A. (2004). Efecto del extracto de hipófisis de carpa (EPC) sobre las características seminales y el porcentaje de fertilización de machos de yamú (*Brycon siebenthalae*). II Congreso Col Acuicultura; Villavicencio: 121-122.
- Arias, C.J.A., Murillo, P.R., Parada, S.L, Rodríguez, S.C.M. y García, J.A. (2000). El cultivo del yamú en la región del Ariari del departamento del Meta. VI Jornada de Acuicultura, Segunda Reunión Regional del Género Brycon; Granada: Universidad de los Llanos-IALL. Pp. 1-6.
- Asociación de acuicultores del Caquetá-ACUICA. (2014). Pirarucú. Manual de campo para la producción comercial. Cartilla ilustrada. Primera edición. Florencia-Caquetá. Colombia. 60 p.
- Atencio G., V. J. (2000). Influência da primeira alimentação na alevinagem do yamú *Brycon siebenthalae* (Eigenmann, 1912). Tese de maestrado, Universidad Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.130p.
- Atencio G., V. J., Zaniboni, F. E., Pardo C., S. C. y Arias C., J.A. (2003). Influência da primeira alimentação na larvicultura e alevinagem do yamú *Brycon siebenthalae* (Characidae). Rev Acta Scientiarum Ani Sci Maringá. (25): 61-72.
- Barreto, C.G. y Mosquera, B. (2001). Boletín Estadístico Pesquero Colombiano. Bogotá. INPA.
- Bernal, R.J.H. y Cala, P. (1997). Composición de la dieta alimenticia del yamú *Brycon siebenthalae* (Pisces:Characidae), en la parte media del río Guayabero, sistema del alto río Guaviare, Colombia. Dahlia Rev. Asoc. Colom. Ictiol. (2):55-63.
- Cala, P., Pérez, M.C. y Rodríguez, L. (1996). Estado actual del capaz, *Pimelodus grosskopfii* (Pisces: Pimelodidae), en el embalse de Betania yaguas arriba en el río Magdalena, Colombia. Rev. Acad. Colombo Cienc. 20: 319-330.

Campos, L. (2001). Historia Biológica del Paiche *Arapaima gigas* y bases para su cultivo en la Amazonía. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP) Programa de Biodiversidad. Iquitos, Perú.

Castello, L., Stewart, D.J. y Arantes, C.C. (2011). Modeling population dynamics and conservation of arapaima in the Amazon. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* (21): 623-640.

Castro, D. (2010). Análisis de la heterogeneidad en los rasgos de vida relacionados con la reproducción y el crecimiento en función del origen genético de diferentes familias de *Pseudoplatystoma fasciatum* (Linnaeus, 1766). Tesis de maestría. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de ciencias Biológicas. Perú.

Chu-Koo, F., Dugue, R., Alvan, M., Casanova, A., Alcántara, F., Chavez, C., Duponchelle, F., Renno, J-F., Tello, S. y Nuñez, J. (2008). Gender determination in the Pirarucu or Paiche (*Arapaima gigas*) using plasma vitellogenin, 17 β -estradiol, and 11-ketotestosterone levels. *Fish Physiol Biochem.* ©Springer Science Business Media B.V.

Cifuentes, R.A. (1999). Composición nutricional de la carcasa de yamú en cinco etapas de cultivo. Trabajo de preparado, Universidad La Salle, Bogotá. 64 p. Clavijo A., J. A. y Arias C., J. A. (2004). Avances en el estudio de la embriología del yamú, *Brycon siebenthalae* (Pisces: Characidae). *Dahlia Rev Asoc Col Ictiol.* (7): 37-48.

Cruz C., P. E., Pardo C., S. C., Arias C., J.A., Lombo C., P. E., Lombo R., D. A. y Pardo M., J.E. (2004). Cryopreservation of yamu *Brycon siebenthalae* Milt. *J World Aquac Soc.* (35): 529-535.

Cruz C., P. E. y Velasco S., Y.M. (2004). Crioconservación de semen de yamú (*Brycon siebenthalae*): calidad seminal, dosis inseminante y sistemas de empaque. II Congreso Col Acuicultura; Villavicencio. Pp. 27-34.

Cruz C., P. E. (2002). Características espermáticas y crioconservación de semen de yamú (*Brycon siebenthalae*) situación actual y perspectivas. VIII Jornada de Acuicultura; Villavicencio; Universidad de los Llanos-IALL. Pp. 39-48.

Cruz C., P. E., Arias C., J. A., Vásquez T., W. y Eslava M., P. R. (2000). Cultivo de la cachama y el yamú en los Llanos Orientales de Colombia. *Rev Col Cien y Tec colciencias* (18): 25-29.

De La Hoz-M, J., Narváez, J.C., Manjarrés-Martínez, L., Nieto A., L., Rivera, L., Cuello, F. y Álvarez, T. (2013). SEPEC-Servicio estadístico pesquero colombiano, Boletín Estadístico Enero - Diciembre de 2013. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP), Bogotá, 60 p.

FAO. (2010). Peces nativos de agua dulce de América del Sur de interés para la acuicultura: Una síntesis del estado de desarrollo tecnológico de su cultivo. 204 p.

Fontenele, O. 1948. Contribuição o conhecimento da Biología do Pirarucu "*Arapaima gigas*" (Cuvier) em Cativerio (Actinopterygii, Osteoglossidae). Ministério da Viação e Obras Públicas. Publicação Nº 165, serie 1-C. Brasil, 35p.

Franco-Rojas, H. H. 2005. Contribución al conocimiento de la reproducción del Pirarucú *Arapaima gigas* (CUVIER, 1887) (PISCES: Arapamidae) en cautiverio. Trabajo de grado, Programa de Biología. Universidad de la Amazonia Florencia-Caquetá.

Franco-Rojas, H. H. y Peláez, M. 2007. Cría y producción de Pirarucú en cautiverio, Experiencias en el piedemonte Caqueteño. Caquetá. Colombia.

Franco-Rojas, H. H. y V. Atencio. 2010. Evaluación del efecto de la densidad y alimentación en el desempeño reproductivo del Pirarucú *Arapaima gigas* mantenido en cautiverio. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia.

García, T.J., Arias, C.J.A. y Cruz, C.P.E. (2004). Efectos de la administración preovulatoria de Triiodotironina (T3) sobre el desempeño reproductivo y desarrollo larvario en yamú *Brycon siebenthalae*. Ver. Orinoquia (8):57-63.

Galvis, G., Mojica, J. I. y Camargo, M. (1997). Peces del Catatumbo. Ecopetrol-Oxy-Shell-Asociación Cravo Norte. D'Vinni Edit. Ltda. Bogotá D.C., Colombia, 188 p.

Guerra, H., Alcántara, F., Padilla, P., Rebaza, M., Tello S., Ismiño, R., Rebaza, C., Deza, S., Ascon, G., Iberico, J., Montreuil, V. y Limachi, L. (2002). *Manual de producción y manejo de alevinos de Paiche*. Instituto de investigaciones de la amazonia peruana. IIAP. Editorial Pueblo Libre, Lima, Perú. 101p.

Howes, G. (1982). Review of the genus *Brycon* (Teleostei, Characoidei). Bull Br Mus (Nat Hist) Zool. (43):1-47.

Hurtado, R. H. y Useche L., C. A. (1986). Estudio sobre la biología del yamú *Brycon siebenthalae* Eigenmann, 1912 y de la palometa *Mylossoma duriventris* Cuvier, 1818, (Pisces: Characidae), en la parte baja del río Cafre, sistema del río Guaviare. Trabajo de pregrado, Universidad Nacional, Bogotá. 136p.

Landines P., M. A. (1995). Inducción de la reproducción del yamú *Brycon siebenthalae* a partir de extracto de hipófisis de carpa (EPC). Bol Cient. INPA (3): 5-17.

Li, G. Q. y Wilson, M.V.H.. (1998). Osteoglossomorpha. Bonytongues.

López, O.Y.M., Vásquez, T.W., Arias, C.J.A. y Wills, F.A. (2004). Evaluación de diferentes proporciones de energía/proteína en dietas para juveniles de yamú, *Brycon siebenthalae* (Eigenmann, 1912). Rev Orinoquia. (8):64-76.

Lugo R., L. M. (1989). Determinación de hábitos alimenticios, madurez sexual y desove en tres especies ícticas de la cuenta del río Tomo, Vichada y consideraciones para el mantenimiento de padrotes. Informe final de investigación, Universidad de los Llanos. Colciencias Coinco; Villavicencio; 137p.

Méndez, C., Castro, D., García, C., Duponchelle, F., Renno, J. F. y Núñez, J. (2012). Adaptación, crecimiento y supervivencia de alevines de doncella *Pseudoplatystoma punctifer* al consumo de alimento balanceado. Rev. Folia Amazónica. VOL. 21 N° 1-2: 63 – 69.

Mojica, J. I., López-Casas, S., Moreno-Arias, C., Castellanos, C., Pinto, C. A. , Franco R., H.H. , Sanchez-Páez, C.L. y Agudelo C., E. (2012). *Arapaima gigas* (Schinz 1822). 76-79 p. En: Mojica, J. I.; Usma, J. S.; Álvarez-León, R. y Lasso, C. A. (Eds). 2012. Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia 2012. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, WWF Colombia y Universidad de Manizales Bogotá, D. C., Colombia, 319 p.

Mojica, J. I., Valderrama, M., Barreto, C., y Álvarez-León, R. (2012). *Prochilodus magdalenae* (Steindachner 1878) 154-159 p. En: Mojica, J. I.; Usma, J. S.; Álvarez-León, R. y Lasso, C. A. (Eds). 2012. Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia 2012. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, WWF Colombia y Universidad de Manizales Bogotá, D. C., Colombia, 319 p.

Nelson, J.S. (1976). Fishes of the world. John Wiley & Sons Incorporated. New York.

Núñez, J., Castro, D., Fernández, C., Dugué, R., Chu-koo, F., Dunpochelle, F., García, C. y Franco, J. (2011). Hatching rate and larval growth variations in *Pseudoplatystoma punctifer*: maternal and paternal effects. Rev. Aquaculture. (42): 764-775.

Pardo C., S.C. (2001). Reprodução induzida de Yamú *Brycon siebenthalae* (Pisces: Characiformes). Tese de Maestrado, Univ de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil,. 67p.

Pardo C., S. C., Arias C., J. A., Atencio G., V. J. y Zaniboni, F. E. (1998). Ensayos de reproducción inducida del yamú, *Brycon siebenthalae* en los Llanos colombianos. I Congreso Suramericano de Acuicultura, Recife, Brasil. 78 p.

Pardo C., S. C., Arias C., J. A., Atencio G., V. J. y Zaniboni, F. E. (1999). Experiencias de reproducción inducida en el yamú, *Brycon siebenthalae* en los Llanos colombianos. II Curso Internacional de Acuicultura, Universidad Nacional, Bogotá. 122-128.

Pereira-Filho, M. (2002). Engorda do Pirarucu (*Arapaima gigas*) em viveiro escavado. INPA. Manaus Brasil.

Peña, G. A. (2011). Pescadores de los raudales del río magdalena durante el periodo formativo tardío. Rev. Caldasia 33(2): 295-314.

Peñaloza G., N. T., Arias C., J. A., Rodríguez S., C. M. y Vásquez T., W. (2001). Alimentación del yamú *Brycon siebenthalae*, con tres diferentes presentaciones de la ración en la etapa de terminación de engorde. VII Jornada de Acuicultura, Villavicencio, Universidad de los Llanos-IALL; P. 33-38.

Rebaza, M., Alcántara, F. y Valdivieso, M. (1999). Manual de Piscicultura del Paiche. Instituto de Investigaciones Peruanas,. IIAP -FAO. Perú.

Rodríguez, N., Castañeda, G. y Ruales, D. (2014). Ensayo preliminar de engorde de dorada (*Brycon moorei* Steindachner 1878) en dos densidades de siembra Universidad de los Llanos - Villavicencio, Meta. Colombia Rev Orinoquia Vol. 18 - No 2.

Salinas, Y. y Agudelo, E.. (2000). Peces de Importancia Económica en la Cuenca Amazónica Colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Programa de Ecosistemas Acuáticos. Bogotá. 140 p.

Salinas V., J. C., Vásquez T., W, Wills, F.A. y Arias C., J. A. (2001). Estudio preliminar para la determinación de proteína cruda en juveniles de yamú *Brycon siebenthalae* (Eigenmann, 1912). VII Jornada de Acuicultura, Villavicencio; Universidad de los Llanos; 39-46.

Stewart, D. J. (2013) “A New Species of *Arapaima* (Osteoglossomorpha: Osteoglossidae) from the Solimões River, Amazonas State, Brazil” *Copeia* 2013 (3): 470-476.

Suárez, U. A. y Burr, B. (2007). Taxonomy of the catfish genus *Pseudoplatystoma* Bleeker (Siluriformes: Pimelodidae) with recognition of eight species. Rev. Zootaxa (1512): 1–38.

Tallarico de Miranda, M.O. (2012). Cultivo de surubín pintado (*Pseudoplatystoma coruscans*) e híbrido (*P. reticulatum* x *P. coruscans*) em sistema de recirculação da água. trabajo de grado Doutor en ciencias. Sao carlos, Brasil, Universidad federal de Sao Carlos. Centro de ciencias Biológicas e da saúde. Programa de pos-graduacao em Ecologia y recursos naturais. 91p.

Torrico, J. P., Hubert, N., Desmarais, E., Duponchelle, F., Nuñez, J., Montoya, J. , García, C., Carvajal, F. M., Grajales, A. A., Bonhomme, F. y Renno, J. F. (2009). Filogenia molecular del género *Pseudoplatystoma* (Bleeker, 1862): implicaciones biogeográficas y evolutivas. Rev. Molecular Phylogenetics and Evolution (51): 588-594.

Useche, C.P., Hurtado, R.H. y Cala, P. (1993). Sobre la ecología de *Brycon siebenthalae* y *Milossoma duriventris* (Pices: Characidae) en el río Cafre, Orinoquia. Rev Caldasia 1993; 17:341-352.

Woynarovich, E. y Horvath, L. A. (1983). Propagação artificial de peixes de águas tropicais- Manual de extensao. FAO/CODEV/ CNPq; Brasília.

