

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES – ITBA

ESCUELA DE POSTGRADO



GESTIÓN AMBIENTAL APLICADA A LA ACUICULTURA

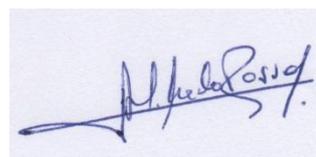
El estado de la piscicultura en Argentina y una propuesta de gestión

AUTOR: Dolcemáscolo, Juan Enrique (Leg. N° 103810)



Dolcemáscolo, Juan Enrique

DIRECTOR: Rosso, Alfredo Daniel



TESIS PRESENTADA PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGÍSTER EN GESTION AMBIENTAL

BUENOS AIRES

SEGUNDO CUATRIMESTRE, 2020

Índice

1.	Resumen.....	6
2.	Introducción	7
2.1	Acuicultura en el mundo	7
2.2	Acuicultura en Argentina	10
2.3	Beneficios y cuestionamientos	19
2.4	Objetivos.....	21
3.	Impactos Ambientales de la Acuicultura.....	23
3.1	Problemática ambiental	23
3.1.1	Eutrofización.....	23
3.1.2	Uso de recursos.....	25
3.1.3	Antibióticos	27
3.1.4	Introducción de especies exóticas.....	28
3.1.5	Degradación de suelos.....	29
3.2	Consideraciones.....	30
4.	Estado del Arte	31
4.1	Sistemas de cultivo extensivo e intensivo	32
4.2	Cultivos integrados.....	36
5.	Sustentabilidad.....	40
5.1	Prerrequisitos para la acuicultura sustentable	42
5.1.1	Límites de producción.....	42
5.1.2	Aprovechamiento de la productividad primaria.....	43
5.1.3	Mínimo uso de agua y aporte de efluentes	44
5.1.4	Menor dependencia del uso de energía	44
5.1.5	Uso de alimentos de alta calidad	45
5.1.6	Cultivo de especies de bajo nivel trófico.....	46
5.1.7	Uso de recursos de forma compartida	46
5.1.8	Sistema de producción integrados	47
5.2	Recomendaciones para la sustentabilidad	48
5.2.1	Construcción y operación	52
5.2.2	Introducción de especies foráneas.....	54

5.2.3	Aceite y harina de pescado.....	56
5.2.4	Erosión de suelo y sedimentación.....	61
5.2.5	Vertidos de aguas residuales.....	62
5.2.6	Utilización de antibióticos.....	67
5.2.7	Utilización de energía.....	71
5.3	Medidas generales.....	77
5.4	Caso de estudio: La salmonicultura en Argentina.....	80
6.	Normativa.....	89
6.1	Ley Nacional 27.231.....	89
6.1.1	Objetivos de la Ley Nacional 27.231.....	90
6.1.2	Creación del RENACUA.....	94
6.1.3	El FONAC y beneficios para el fomento de la acuicultura.....	94
6.2	Situación en las provincias.....	97
6.3	Normativa internacional.....	100
6.3.1	Normativa acuícola en Brasil.....	101
6.3.2	Normativa acuícola en Chile.....	103
6.3.3	Comparación regional.....	107
7.	Tecnologías de Producción.....	109
7.1	Sistemas de recirculación en acuicultura (RAS).....	110
7.1.1	Ventajas y desventajas de los RAS.....	110
7.1.2	Componentes básicos del sistema.....	114
7.1.2.1	Tanques de cultivo.....	115
7.1.2.2	Decantador/Sedimentador y filtros mecánicos.....	116
7.1.2.3	Biofiltros.....	118
7.1.2.4	Sistema de aireación y oxigenación.....	120
7.1.2.5	Sistema de bombeo.....	121
7.1.2.6	Unidad de cuarentena.....	121
7.1.3	Tipos de arreglo.....	122
7.1.4	Conceptos fundamentales.....	124
7.1.4.1	Remoción de solidos.....	124
7.1.4.2	Nitrificación.....	126
7.1.4.3	Restauración de oxígeno y eliminación de gas carbónico.....	129
7.1.4.4	Desinfección.....	129
7.1.4.5	Seguridad.....	130
7.1.4.6	Uso de raciones de alta calidad.....	130

7.1.4.7	Monitoreo y corrección de la calidad del agua	131
7.2	Acuaponía.....	132
7.2.1	Definición, ventajas y desventajas.....	132
7.2.2	Balance del sistema acuapónico	134
7.2.3	Calidad de agua en sistemas de recirculación	137
7.2.3.1	Temperatura.....	137
7.2.3.2	pH	138
7.2.3.3	Alcalinidad y dureza del agua	139
7.2.3.4	Oxígeno disuelto.....	140
7.2.3.5	Compuestos nitrogenados.....	141
7.2.3.6	Otros parámetros.....	141
7.2.4	El proceso de mineralización.....	142
7.2.5	Unidades acuapónicas	144
7.2.5.1	Técnica de lechos de sustratos.....	145
7.2.5.2	Técnica del film nutritivo (NFT)	148
7.2.5.3	Técnica de cultivo en aguas profundas (DWC).....	151
7.2.6	Comparación de tecnologías.....	153
7.3	Comentarios finales.....	155
8.	Propuesta de Gestión.....	157
8.1	El proyecto acuícola.....	157
8.1.1	Descripción del proyecto	157
8.1.2	Tecnología a utilizar	159
8.1.3	Localización.....	159
8.1.4	Superficie del terreno, superficie cubierta existente y proyectada	160
8.1.5	Necesidades de infraestructura y equipamiento	160
8.1.6	Etapas del proyecto	161
8.1.7	Objetivos y beneficios socioeconómicos.....	163
8.2	Gestión de recursos	165
8.2.1	Fuentes de energía y consumos estimados	165
8.2.2	Fuentes de agua, calidad y cantidad.....	165
8.2.3	Otros insumos	166
8.2.4	Residuos y efluentes.....	167
8.3	Normativa aplicable	169
8.3.1	Principales organismos, entidades y/o empresas involucradas.....	169
8.3.2	Normas y/o criterios nacionales y/o extranjeros consultados	169

8.4	Acciones impactantes del proyecto.....	170
8.4.1	Principales factores ambientales susceptibles de ser impactados.....	171
8.4.2	Identificación de impactos ambientales.....	171
8.4.2.1	Actividades con impactos negativos.....	174
8.4.2.2	Actividades con impactos positivos.....	175
8.4.3	Caracterización de impactos.....	175
8.4.3.1	Impactos negativos.....	175
8.4.3.2	Impactos positivos.....	179
8.5	Plan de gestión ambiental (PGA).....	180
8.5.1	Programa de gestión de obra.....	180
8.5.2	Programa de gestión de residuos de obra y reciclables.....	182
8.5.3	Programa de monitoreo ambiental.....	182
8.5.4	Programa de comunicación social.....	184
9.	Conclusiones.....	185
10.	Anexos.....	189
10.1	Anexo I: Generalidades de las principales especies estudiadas: El Pacú y la Trucha Arcoíris.....	189
10.2	Anexo II: Cálculos de FIFO para el salmón por los métodos de Tacon & Metian, Jackson y Combinado.....	196
10.3	Anexo III: Antibióticos comúnmente utilizados en acuicultura.....	199
10.4	Anexo IV: Introducción a la legislación ambiental.....	202
10.5	Anexo V: El proceso de nitrificación.....	209
10.6	Anexo VI: Escuela de acuicultura.....	213
10.7	Anexo VII: Listado de tablas.....	217
10.8	Anexo VIII: Listado de figuras.....	218
10.9	Anexo IX: Presentación de Tesis.....	221
	Bibliografía.....	233

1. Resumen

Este trabajo busca determinar los principales impactos ambientales asociados a la acuicultura y las medidas posibles para evitar o mitigar dichos impactos, a la vez que establece una propuesta de gestión sustentable para un proyecto acuícola. Para ello, se realiza un análisis exhaustivo de bibliografía y se llevan a cabo consultas a distintos especialistas en la materia.

El fundamento de la tesis se basa en la impactante evolución de la acuicultura en el mundo en los últimos años y la falta de consensos en cuanto al verdadero impacto de la actividad. La tesis estudia el crecimiento de la acuicultura en el mundo, cuyo dinamismo se contrapone en cierta manera al letargo productivo nacional, y describe las principales problemáticas ambientales asociadas al cultivo de especies acuáticas. Posteriormente, se examinan diversos sistemas productivos en piscicultura, destacándose entre ellos los sistemas cerrados de recirculación por su elevada eficiencia general y sus exitosos antecedentes de aplicación en diversos países. Desde el punto de vista normativo, se destaca la promulgación de la reciente ley nacional de desarrollo sustentable en acuicultura y se compara la situación actual en las diferentes provincias argentinas, así como también en los países vecinos de Brasil y Chile. Por último, se lleva a cabo el análisis de un caso particular en donde se aplican herramientas de gestión ambiental para la puesta en marcha de un proyecto acuícola en la provincia de Buenos Aires. A partir de este, se concluye que es posible llevar adelante emprendimientos piscícolas exitosos bajo el paradigma del desarrollo sustentable, independientemente de las condiciones del entorno inmediato.

2. Introducción

2.1 Acuicultura en el mundo

La acuicultura es el conjunto de actividades y técnicas de cultivo de organismos que viven en medios acuáticos, como peces, moluscos, crustáceos o algas. En la actualidad, es una importante actividad económica de producción de alimentos, materias primas de uso industrial y organismos vivos para fines ornamentales.

De acuerdo al informe “El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura” de 2018 (también conocido como informe SOFIA), elaborado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en el año 2016, la producción pesquera mundial alcanzó un máximo de aproximadamente 171 millones de toneladas (t), de los cuales la acuicultura representó un 47% del total y un 53% si se excluyen los usos industriales (como harina y aceite de pescado). Esto significa una producción total de más de 80 millones t de pescado comestible, de los cuales 54,1 millones t correspondieron a peces de aleta, 17,1 millones t a moluscos, 7,9 millones t a crustáceos y 938.500 t a otros animales acuáticos (Fig. 1). Ese mismo año también se produjeron 30,1 millones t de plantas acuáticas y 37.900 t de productos no alimentarios. En conjunto, el valor total de la producción acuícola en 2016 se estimó en USD 232.000 millones (FAO, 2018).

Según diversos autores, la acuicultura es considerada como la actividad agroindustrial de mayor crecimiento a nivel mundial de las últimas décadas y responsable del impresionante crecimiento del suministro de pescado para consumo humano. Entre 1961 y 2016, el aumento anual medio del consumo mundial de pescado comestible (3,2 %) superó al crecimiento de la población (1,6

%) y también al de la carne procedente de todos los animales terrestres juntos (2,8 %). En términos per cápita, el consumo de pescado comestible aumentó de 9,0 kg en 1961 a 20,2 kg en 2015, a una tasa media de aproximadamente un 1,5% al año. Las estimaciones preliminares relativas a los años 2016 y 2017 apuntan a un nuevo aumento hasta alcanzar unos 20,3 kg y 20,5 kg, respectivamente (FAO, 2018).

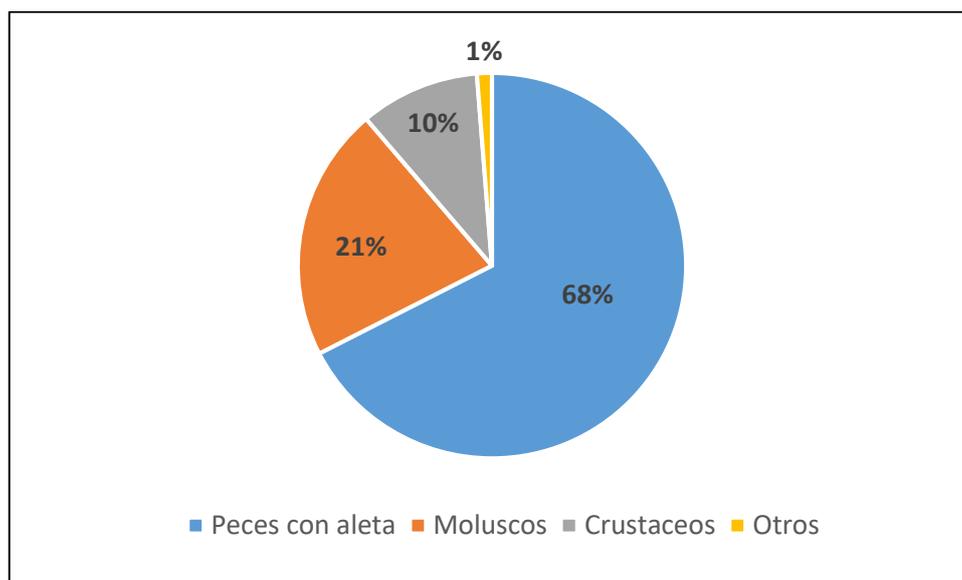


Fig. 1: Distribución de la producción acuícola mundial 2016

En la Fig. 2 se puede apreciar que, desde los últimos 20 años, la producción por pesca de captura se mantuvo relativamente constante entretanto la acuicultura adquirió un dinamismo nunca visto en la historia. Este crecimiento sostenido parece no tener techo y se cree que para las décadas de 2030 y 2040 superará en cantidad a la producción mundial por pesca de captura. Algunos especialistas conjeturan con un posible receso en la explotación de recursos pesqueros debido al desarrollo del cultivo de especies acuáticas, trayendo como consecuencia una disminución del impacto humano sobre los ecosistemas costeros, marítimos y fluviales del mundo.

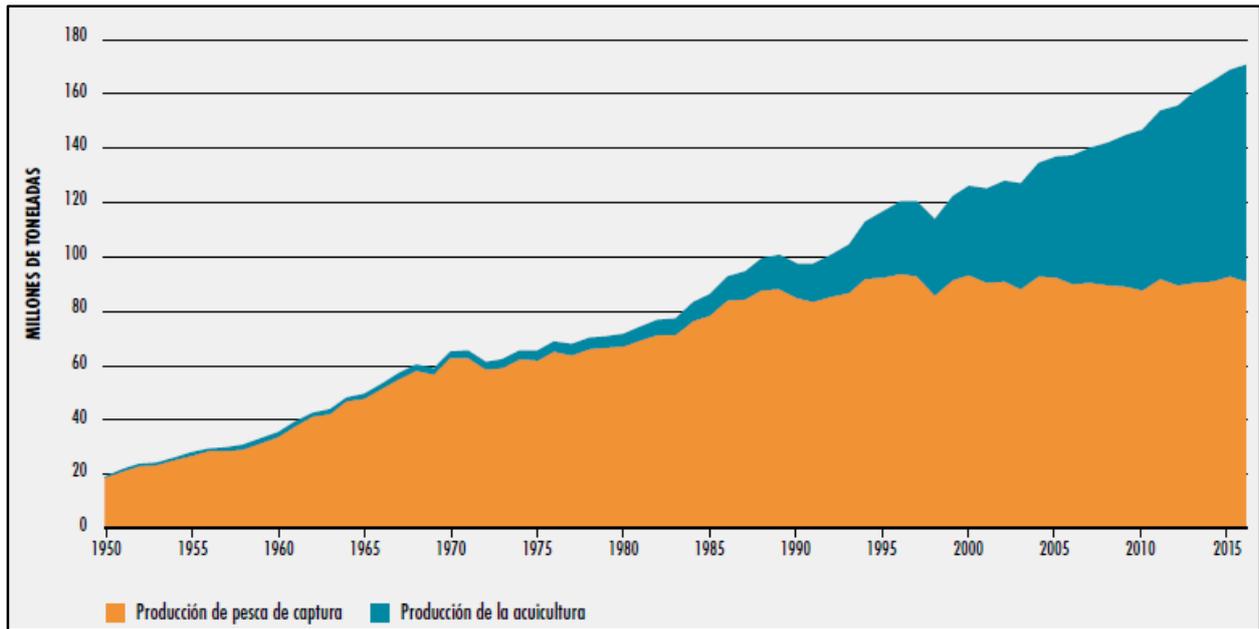


Fig. 2: Producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura (FAO, 2018)

A pesar de que la acuicultura sigue creciendo más rápido que otros sectores principales de producción de alimentos, ya no muestra las elevadas tasas de crecimiento anuales de las décadas de 1980 y 1990 (11,3% y 10,0%, excluidas las plantas acuáticas). El crecimiento anual medio descendió al 5,8% durante el período 2000-2016, aunque siguió registrándose un crecimiento de dos dígitos en un pequeño número de países individuales, especialmente en África (FAO, 2018).

Respecto a la distribución de productores, cabe destacar que los países asiáticos se encuentran al tope del ranking mundial de productores acuícolas, el cual es liderado ampliamente por China, cuya producción es mayor a la del resto del mundo cada año desde 1991. Este es seguido por India, Indonesia, Vietnam, Bangladesh, Egipto y Noruega. Por otra parte, a nivel regional Chile, Brasil y Ecuador son los principales referentes en cuanto a producción de peces comestibles.

Tabla 1: Principales países productores de peces comestibles (FAO, 2018)

Región/País	Producción anual (miles de ton)				
	1995	2000	2005	2010	2016
China	15.856	21.522	28.121	36.734	49.244
India	1.659	1.943	2.967	3.786	5.700
Indonesia	641	789	1.197	2.305	4.950
Vietnam	381	499	1.437	2.683	3.625
Bangladesh	317	657	882	1.309	2.204
Egipto	72	340	540	920	1.371
Noruega	278	491	662	1.020	1.326
Chile	157	392	724	701	1.035
Resto América Latina y el Caribe	284	447	785	1.154	1.667

2.2 Acuicultura en Argentina

Si bien la ONU considera a la Argentina dentro del grupo de países de la región con mayor potencialidad (Infobae, 2018), la acuicultura es una actividad poco desarrollada en el país y sus productos tienen escasa participación en el mercado local. No obstante, Argentina siguió las tendencias mundiales y presentó un incremento considerable de las actividades acuícolas en los últimos 30 años. Durante el período que comprende los años 1996 y 2016, el cultivo de especies acuáticas creció a un ritmo aproximado de 200 t anuales, tocando su pico máximo en 2014 con 4027 t (Panné Huidobro, 2017). Se espera que para finales del año 2020 dicha producción alcance las 4500 t (Fig. 3), y se cree que en la próxima década este crecimiento adquiera un ritmo exponencial. Para el organismo internacional, la producción de pescado prevista para nuestro país entre pesca de captura y acuicultura pasaría de unas 759.000 t en 2016 a 853.000 t en 2030, con una tasa de desarrollo de 12,4%. No obstante, teniendo en cuenta el contexto de

crisis económica mundial como resultado de la pandemia de coronavirus de principios de 2020, es posible que estas estimaciones sean demasiado optimistas.

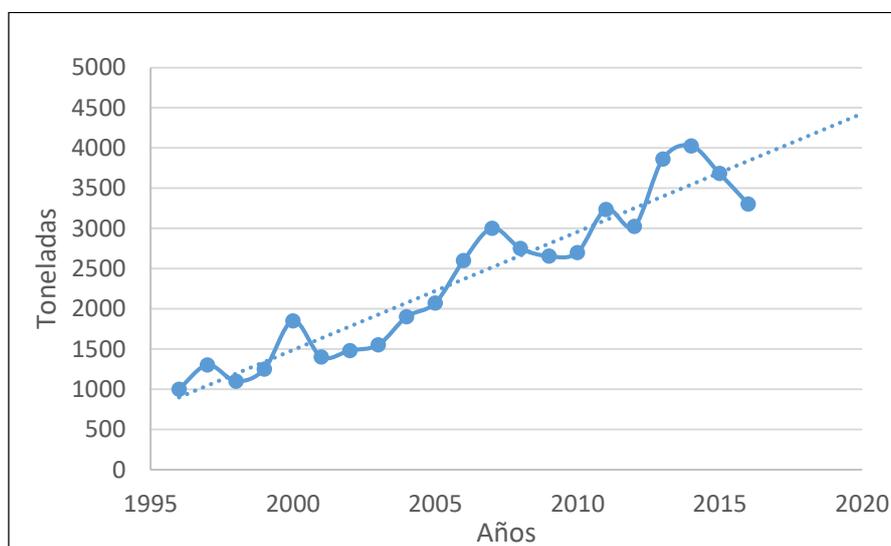


Fig. 3: Producción ictícola por acuicultura en Argentina, período 1996-2016

Según Luis Portaluppi, presidente de la Asociación Argentina de Acuicultura (AAA), la participación de nuestro país apenas puede medirse en términos regionales y alcanza el 0,04% de lo producido en América Latina. Este porcentaje de participación es muy pequeño y tenderá a ser menor en la medida que el resto siga creciendo (Infobae, 2018).

Hoy en día, en Argentina se cultivan alrededor de 23 especies que incluyen peces, moluscos, bivalvos, reptiles y anfibios; concentrando la mayor cantidad de establecimientos en la región noreste argentino (NEA) que, en conjunto a la región noroeste (NOA) y centro del país, contabilizan alrededor de 64 centros productivos de mediana y gran envergadura (Fig. 4). A su vez, en esta misma zona geográfica, es posible encontrar gran número de emprendimientos de tipo familiar con cultivos artesanales, los cuales apenas alcanzan a producir entre cuatro y ocho toneladas al año.



Fig. 4: Centros acuícolas de Argentina en 2019 (ReFACUA)

De todos los centros productivos del país, los que producen la mayor cantidad de peces por acuicultura se encuentran en las provincias de Misiones, Neuquén y Chaco (Fig. 5). Estas son las provincias más relevantes en cuanto a producción bruta de pescado por acuicultura que, en conjunto, constituyen el 90% de la producción local (Panné Huidobro, 2017).

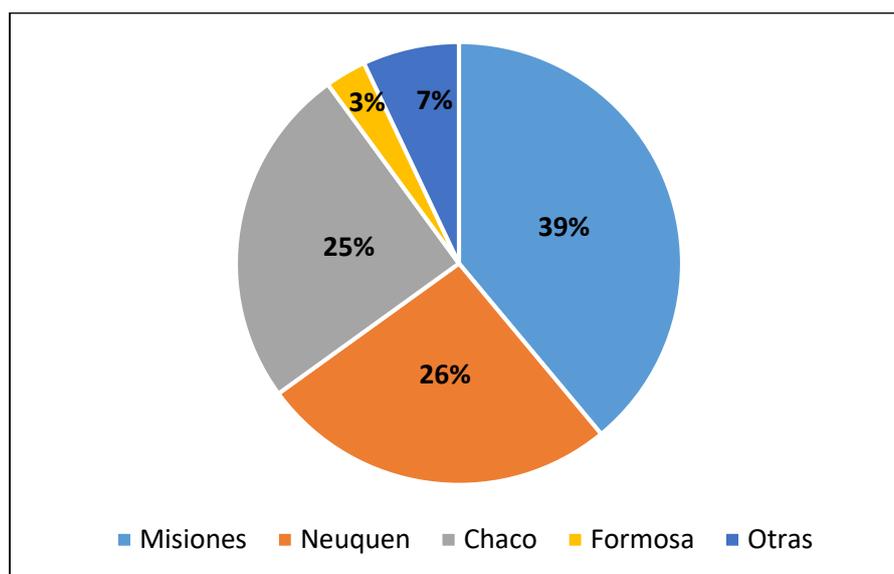


Fig. 5: Producción ictícola de Argentina por provincias en 2016

En 2016, el 88 % de la producción nacional fue distribuida solamente entre dos especies; el Pacú (*Piaractus mesopotamicus*) con 1946,70 t y la Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) con 963,47 t (Panné Huidobro, 2017), donde el Pacú surge como el pez de cultivo más producido (Fig. 6).

Con respecto a los establecimientos de producción de Pacú, estos se encuentran en regiones de aguas cálidas, principalmente en el NEA en las provincias de Misiones (en donde muchas cooperativas yerbateras optaron por el cultivo de peces para diversificar sus negocios), Chaco y Corrientes. También se pueden encontrar establecimientos productivos de menor envergadura en las provincias de Formosa, Santa Fe y Tucumán.

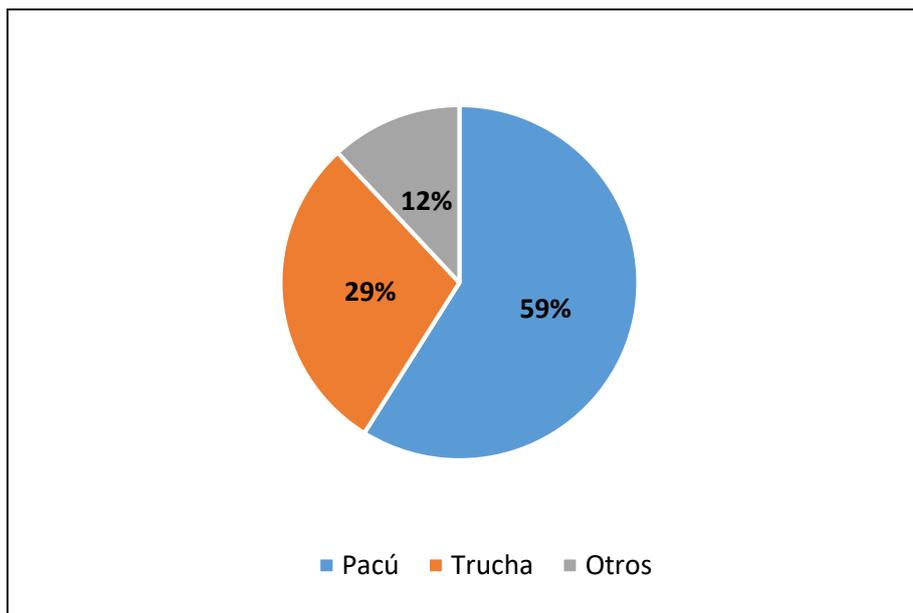


Fig. 6: Distribución de especies ictícolas producidas en Argentina en 2016

En Argentina, la producción de Pacú por criadero se mantuvo en constante crecimiento desde su introducción en los años noventa, aumentando su dinamismo en los últimos quince años. Durante este periodo de tiempo pasó de generar 500 t en el año 2005 a las casi 1947 t anuales de 2016 (Fig. 7), tocando su máximo histórico en 2014 con una producción cercana a las 2120 t y colocándose como el principal producto piscícola del país con una participación del mercado superior al 50%. Si esta tendencia sigue creciendo al ritmo actual, se espera que la producción de esta especie supere las 3500 t para el año 2025.

En la región NEA y especialmente en la producción de Pacú, los sistemas de producción suelen ser semi-intensivos en estanques excavados en tierra (etapa de pre-engorde y engorde) o en sistemas de rotación de arroz (más comúnmente utilizado en la provincia de Chaco).

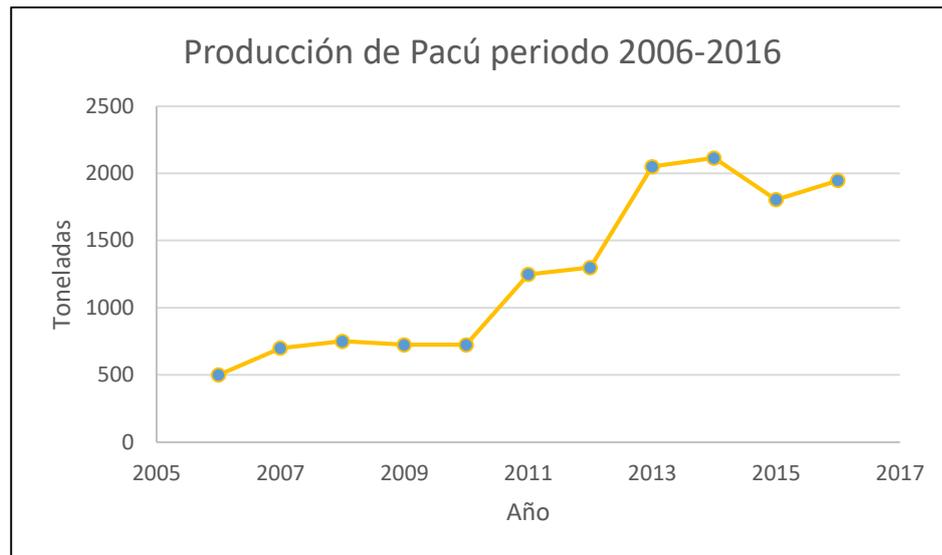


Fig. 7: Producción argentina de Pacú periodo 2006-2016

El Pacú presenta una carne de excelente calidad muy apreciada en el mercado interno, especialmente en la provincia de Buenos Aires y en la región noreste del país. Se lo comercializa esencialmente como pieza entera eviscerada con pesos de 1,1 - 1,2 kg, pero también se lo puede encontrar como filetes, *nuggets* o hamburguesas. Los principales consumidores son las pescaderías y restaurantes del norte y centro del país, muchos pertenecientes a importantes cadenas hoteleras de la región.

Actualmente el Pacú se puede encontrar en supermercados y pescaderías del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) a un precio que oscila entre los 4,30 - 8,70 U\$\$/kg.

Las principales empresas productoras de Pacú del país son:

- Rosamonte- HREÑUK S.A. (Misiones)
- Romance - Gerula S.A. (Misiones)
- Pacú Tekó - PLP Group (Chaco)

A diferencia del Pacú, la Trucha arcoíris ha mantenido niveles de producción relativamente estables a lo largo de los últimos veinte años con una producción anual promedio de 1500 t, tocando un pico en 2007 con cerca de 1800 t/año producidas. Sin embargo, en los últimos años ha mostrado una tendencia claramente decreciente, razón por la cual la producción de esta especie se contrajo hasta las 963,47 t en el año 2016 (Fig. 8).

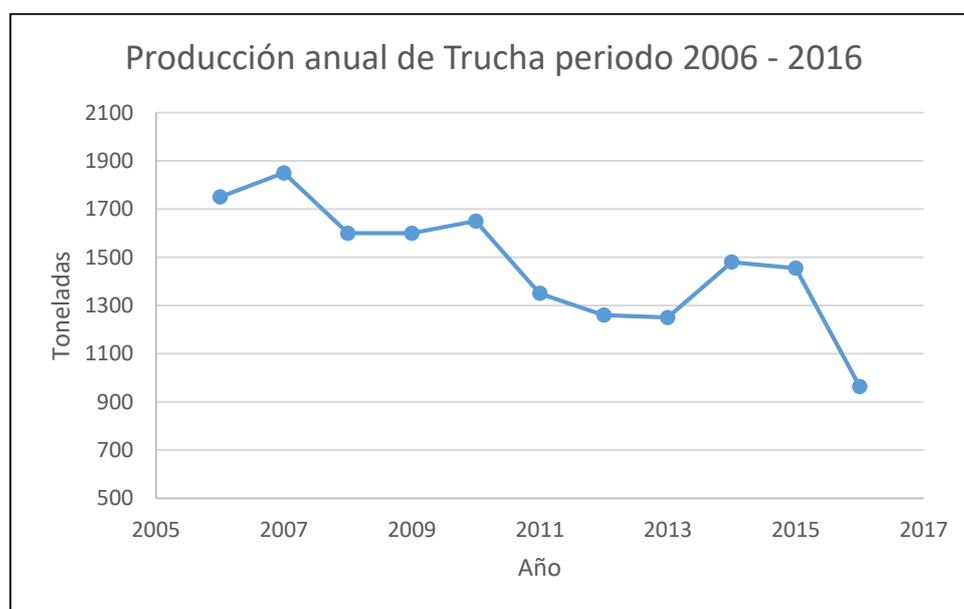


Fig. 8: Producción argentina de Trucha Arcoíris periodo 2006-2016

El cultivo de Trucha arcoíris tiene lugar principalmente en los embalses hidroeléctricos Alicurá y Piedra del Águila del río Limay, entre las provincias de Neuquén y Río Negro (Fig. 9), desarrollados en sistemas semi-intensivos en jaulas suspendidas. En menor escala, se produce Trucha arcoíris en las provincias de Tierra del Fuego y Santa Cruz, existiendo además otros establecimientos pequeños en tierra de tipo familiar o pymes de menor producción, ubicados en zonas turísticas (La Pampa, Mendoza, Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires) siendo su cultivo realizado en *raceways* (tanques de cemento, rectangulares alargados) o tanques circulares, con una alta tasa de renovación de agua de excelente calidad.

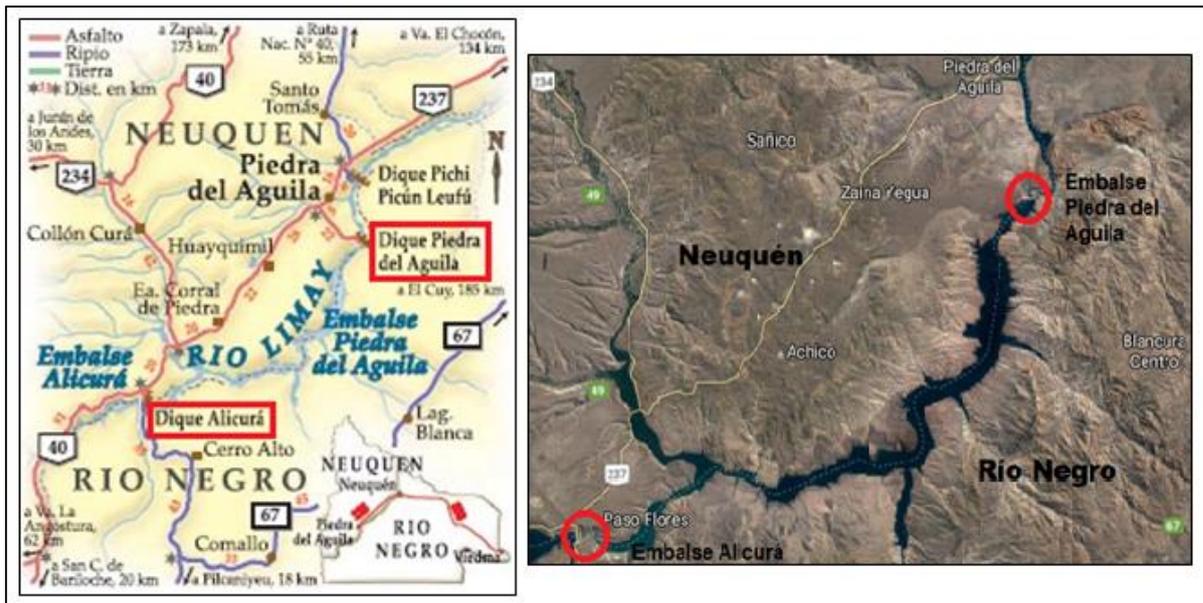


Fig. 9: Ubicación de los embases Alicurá y Piedra del Águila

Por otra parte, la trucha se destina mayoritariamente al mercado interno como trucha tamaño "pan size" de 20 a 35 cm, dimensiones que se logran en aproximadamente 18 meses; desespina con cabeza y piel de 200 a 300 g, aunque también se utilizan piezas mayores para ahumado. En la actualidad, solamente las empresas Truchas Alicurá S.R.L. y Manila S.A. son las únicas compañías que exportan su producto en filete hacia EE.UU. Las ventas alcanzan fundamentalmente a restaurantes, supermercados, hoteles y empresas de catering, siendo el AMBA el mayor mercado receptor de trucha seguido de cerca por otros centros urbanos importantes como Rosario y Córdoba. Este producto es además comercializado en los destinos turísticos de mayor envergadura del país, especialmente los de la región patagónica, como por ejemplo Bariloche, Ushuaia, San Martín de los Andes, etc. En la ciudad de Buenos Aires, se comercializa trucha originaria principalmente de las provincias de Neuquén y Córdoba, con una demanda estimada de 40 t/mes en sus diversas formas: entero, congelado, en fresco, fileteado mariposa y filetes, con y sin espinas, ahumados y en diferentes tallas (Dirección provincial de medio

ambiente de Neuquén, 2005). Aun así, los productos con mayor valor agregado, como el ahumado o enlatado, tienen baja demanda interna excepto en regiones altamente turísticas, pero se espera que con el desarrollo de la industria acuícola y la expansión del turismo mejore la comercialización de estos productos.

En mercados y pescaderías del AMBA se puede encontrar Trucha a un precio que oscila entre los 14,50 – 19,20 U\$/kg.

Las principales empresas productoras de Trucha del país son:

- Truchas Alicurá S.R.L. (Neuquén)
- IDRIS Patagonia S.A. (Río Negro/Neuquén)
- Manila S.A. (Río Negro)

Más allá del mercado acuícola nacional, cabe destacar la labor realizada por el Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC) y la Red de Fortalecimiento de la Acuicultura (ReFACUA). El primero es un organismo de investigación y desarrollo, dependiente del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación que se encuentra en la provincia de Corrientes y brinda capacitación y asesoramiento a productores acuícolas con el objetivo de apoyar el avance de la producción por acuicultura de agua dulce en el país, especialmente en lo que se refiere al desarrollo y difusión de tecnologías aptas para el cultivo de especies de interés comercial de clima templado y subtropical. Este centro cuenta con una superficie de 16 ha en donde es posible hallar tanques excavados en el suelo, un área de laboratorios, una sala de incubación (o hatchery), una sala de faena y fabricación de alimentos balanceado, así como también un sector destinado a la práctica de acuaponía. De igual manera, la ReFACUA busca promover el desarrollo

de la acuicultura a través de los ámbitos académicos y productivos, y transformar sus esfuerzos en políticas públicas concretas coordinadas por los estados provinciales y nacional. Su objetivo general es crear una red capaz de contar con recursos humanos formados en la temática, generar conocimiento, desarrollo y transferencia de tecnología; canalizando la demanda de servicios requeridos por el sector público y privado y haciendo llegar a los mismo la información y desarrollos de interés que le permitan incrementar su productividad. De esta manera, la Argentina se posiciona firmemente en el camino del desarrollo de la acuicultura, fortaleciendo no sólo su capacidad productiva sino también su matriz de desarrollo y transferencia de conocimiento.

2.3 Beneficios y cuestionamientos

De la información analizada hasta el momento se puede concluir que la acuicultura es un sector sumamente dinámico, que crece de manera continua y mantendrá esta tendencia por muchos años más, asegurando de forma eficaz y sostenible la provisión de proteínas necesarias para alimentar a un mundo con una población creciente y garantizar la seguridad alimentaria.

El informe SOFIA del año 2018 señala que a futuro no existen muchas posibilidades de que se produzcan aumentos considerables de las capturas de mar a la vez que la producción acuícola irá creciendo año a año. Asimismo, este informe determinó que el porcentaje de poblaciones explotadas a niveles biológicamente insostenibles se incrementó del 10% en 1974 a poco más del 33% en 2015. Ese mismo año, las poblaciones explotadas a un nivel de sostenibilidad máximo representaban casi el 60% y las especies subexplotadas el 7% del total de

poblaciones evaluadas. Las poblaciones subexplotadas se redujeron de forma constante de 1974 a 2015, mientras que las explotadas a un nivel de sostenibilidad máximo disminuyeron de 1974 a 1989 y posteriormente aumentaron hasta la actualidad. En este contexto, la acuicultura surge como una posibilidad de reducir el impacto de la pesca sobre las poblaciones explotadas a un nivel insostenible y como parte de una solución para no deteriorar los ecosistemas marinos, o evitar incluso que desaparezcan.

La acuicultura posee beneficios innegables, como lo son la producción de alimentos de alta calidad libres de contaminantes como el mercurio y otros metales pesados, la generación de nuevos puestos de trabajo y un gran potencial económico, además con el creciente desarrollo de esta rama agroindustrial podría reducirse la depredación de los recursos pesqueros del planeta. Al mismo tiempo, los criaderos de peces pueden ser instalados en casi cualquier lugar donde exista una fuente de agua, y pueden combinarse con otras prácticas de cultivo e irrigación, lo que permite reducir costos y proporcionar pescado como fuente alimentaria a la población. La creación de pequeñas empresas locales y nuevos puestos de trabajo son motivos de peso que hacen que cada vez en más regiones apuesten por este sistema de crianza. De esta manera, parecería que a la industria acuícola le espera un futuro prometedor, no obstante, numerosos especialistas y ecologistas argumentan que la acuicultura no constituye una práctica sustentable y que incluso agravará aún más el problema de la sobrepesca en vez de resolverlo, debido a que la mayoría de las especies criadas en cautiverio son carnívoras y se nutren de otras que se pescan en ambientes marinos. Otro gran problema que señalan es el uso de antibióticos, ya que el exceso de peces en un área reducida

ocasiona un descenso considerable de oxígeno en el agua y que estos enfermen, haciendo necesario el uso de antibióticos para combatir dichas enfermedades. Además, estudios realizados a peces de criadero concluyeron que la calidad de su carne es inferior a la de los salvajes, ya que a pesar de poseer mayores cantidades de grasa, los porcentajes de ácidos grasos omega 3 son inferiores (Hardy, 2003). Cabe entonces preguntarse ¿Es realmente la acuicultura una actividad sustentable? ¿Cuáles son los impactos ambientales generados por esta actividad? ¿Qué técnicas se están utilizando o se podrían utilizar para atenuar dicho impacto ambiental?

2.4 Objetivos

Luego de conocer la dinámica que esta actividad está teniendo en el mundo y la velocidad con que irá evolucionando en el futuro próximo, resulta indispensable llevar adelante un análisis profundo para determinar fehacientemente la envergadura de los impactos ambientales derivados de la práctica acuícola. En base a esta necesidad, se propone como objetivo general estudiar el impacto ambiental de la acuicultura desde el punto de vista local y en el marco del paradigma de desarrollo sustentable. Sumado a ello, se establecen los siguientes objetivos particulares:

- Proponer recomendaciones para reducir los impactos ambientales significativos y las problemáticas derivadas de la producción acuícola.
- Analizar la legislación local sobre acuicultura y realizar una comparación regional.

- Comprender y comparar las principales tecnologías de producción acuícolas disponibles en el mercado, y determinar cual representa una mejor solución para reducir el impacto ambiental de la piscicultura.
- Realizar un breve estudio de impacto ambiental de un proyecto acuícola y generar una propuesta de gestión.

Para encarar estos aspectos de la acuicultura, se tomará como referencia a las dos especies que representan el mayor volumen de producción en Argentina, el Pacú, propio de la región del NEA, y la Trucha arcoíris, mayormente producida en la Patagonia; cuyas generalidades se abordan en el Anexo IV.

3. Impactos Ambientales de la Acuicultura

3.1 Problemática ambiental

A pesar del enorme impulso que está cobrando la acuicultura en el mundo y de sus efectos positivos en materia de seguridad alimentaria y explotación de recursos pesqueros convencionales, todavía existen serios riesgos ambientales que pueden presentarse como resultado de una gestión irresponsable de la actividad. Entre ellos, los más importantes están directamente relacionados con el mal manejo de recursos naturales, con sistemas intensivos de producción mal gestionados, el uso desproporcionado de antibióticos y el impacto sobre la biodiversidad. Adicionalmente, muchos sistemas piscícolas requieren de cantidades importantes de energía para su correcto funcionamiento, poniendo en tela de juicio no solo la relación costo/beneficio de la actividad, sino también la sustentabilidad de la misma.

En las próximas páginas, se describirán sucintamente los principales problemas asociados con las prácticas acuícolas y sus efectos sobre el ambiente.

3.1.1 Eutrofización

El proceso de eutrofización consiste en el enriquecimiento de nutrientes en un ecosistema a un ritmo tal que no puede ser compensado por la mineralización total, de manera que la descomposición de la materia orgánica genera una disminución de oxígeno en las aguas profundas. Las masas de agua eutrofizadas tienen un alto nivel de productividad y de biomasa en todos los niveles tróficos, proliferan las algas (*Bloom de Algas*) y se presenta un crecimiento intenso de las plantas acuáticas. De esta forma, la eutrofización puede interferir gravemente con

la vida acuática y con el uso que el hombre haga del recurso hídrico, causando una serie de impactos negativos entre los que se puede incluir la muerte de organismos acuáticos, la presencia de patógenos, condiciones sépticas, generación de malos olores y gases tóxicos (Fig. 10).

El enriquecimiento orgánico de la columna de agua se origina, mayormente, por la acumulación de nutrientes tales como Nitrógeno, Fosforo y Carbono (N, P, C) debajo de los estanques o jaulas de cría debido a restos de alimento no consumido; generalmente asociado a prácticas ineficientes de alimentación en exceso; la descomposición de organismos muertos, la re-suspensión de sedimentos y las excretas de los animales. Eventualmente, la columna de agua enriquecida de este modo es descartada como efluente hacia un ecosistema acuático receptor, que en consecuencia podría dar lugar a la proliferación de algas.

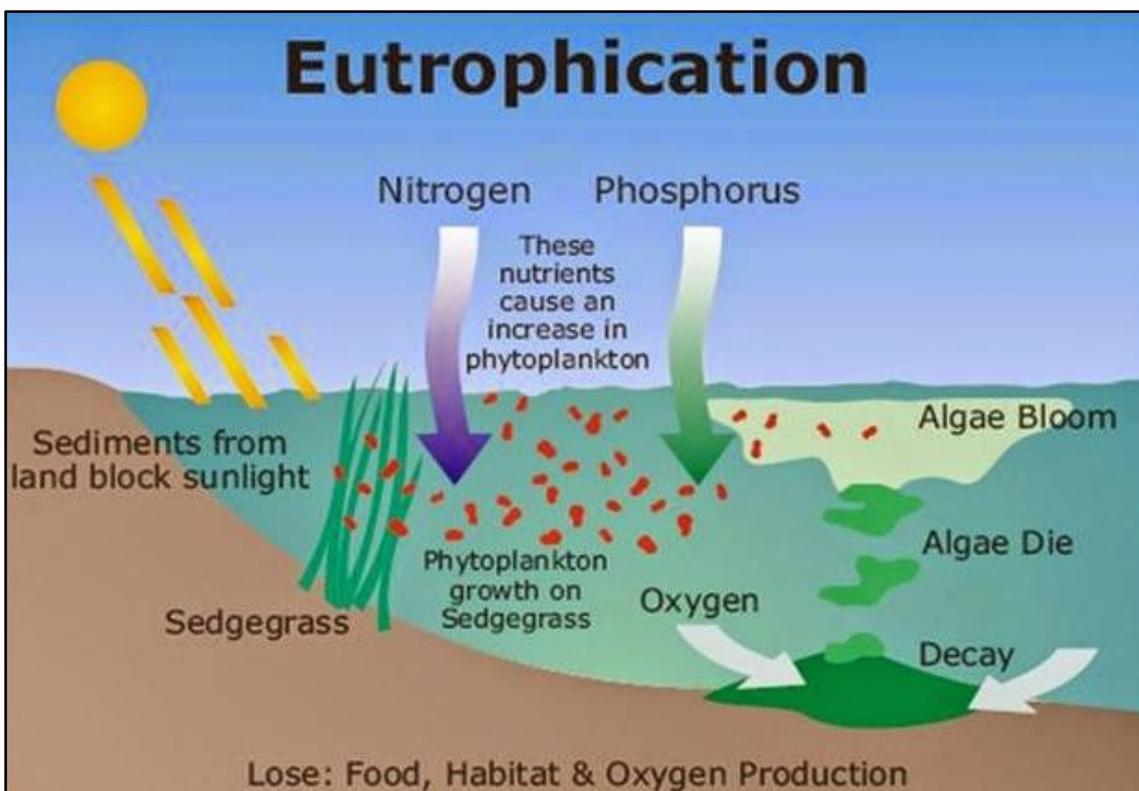


Fig. 10: Proceso de eutrofización (Jimenez, 2014)

La eutrofización se siente con mayor intensidad en lagos y cuerpos de agua estáticos, ya que no hay grandes flujos de entrada y salida de agua y, por lo tanto, los nutrientes que entran a la masa de agua tienden a acumularse con el tiempo (Fig. 11). Por el contrario, los ríos fluyen continuamente permitiendo el transporte y difusión de los nutrientes dando como resultado una menor acumulación en el lecho, la cual tiende a ocurrir solamente en los sedimentos o en aguas de flujo muy lento.



Fig. 11: Sistema eutrofizado

Por otra parte, el nitrógeno que se encuentra en exceso en el cuerpo de agua forma amoníaco libre (NH_3), el cual es altamente tóxico para los peces y la vida acuática en general, y cuya toxicidad aumenta con el pH y la temperatura.

3.1.2 Uso de recursos

Para que una actividad, industrial o no, se considere sustentable debe por definición satisfacer las necesidades presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras de atender a sus propias necesidades. Desde este punto

de vista la acuicultura y, específicamente el cultivo de ciertas especies presenta aún hoy interrogantes por aclarar. Entre ellos se destacan los consumos de agua dulce y energía necesarios para llevar a cabo las operaciones requeridas por la industria y, por otro lado, los consumos de alimento balanceado y las técnicas de alimentación intensivas utilizadas por algunos criadores.

Las instalaciones piscícolas de agua dulce suelen requerir grandes cantidades de agua que, en muchos casos, debe ser transportada desde su fuente de origen (pozo, río, reservorio, etc.) hasta el sistema productivo por medio de un sistema de bombeo que requiere energía eléctrica y reduce en mayor o menor medida el rendimiento económico de la actividad. Es más, algunos métodos productivos incluyen operaciones de lavado y filtrado, con lo cual el consumo de energía se incrementa en gran medida, aumentando aún más los costos de operación. La situación se agrava si la especie cultivada requiere una temperatura de agua mayor a la temperatura que se encuentra naturalmente en el ambiente, en cuyo caso hará falta un sistema de intercambio de calor para que aumente la temperatura del agua utilizando gas natural o algún otro combustible fósil como fuente de energía. Como es posible apreciar, en la medida que se sumen mayores complejidades operativas al sistema, mayores también serán los costos asociados al consumo energético, poniendo en riesgo la sustentabilidad de la actividad. Además, no debe perderse de vista que la mayoría de la energía necesaria para el funcionamiento del sistema acuícola proviene de fuentes de energía fósil, con lo cual contribuye a incrementar su huella de carbono.

Con respecto al sistema de alimentación, hay que destacar que el alimento balanceado es uno de los principales insumos requeridos por la industria piscícola,

representando en muchos casos el mayor costo operativo del criadero. A lo largo de los años, la práctica intensiva de la acuicultura ha llevado a que la producción se sustente cada vez más en una fuente externa de alimento basada en la utilización de lo que se conoce como “harina de pescado”, un producto obtenido del procesamiento de diferentes pescados con alto contenido de proteína y grasa digerible que se utiliza como fuente de alimentación primaria para el engorde del cultivo. El hecho de que la especie cultivada requiera más proteína de la que genera, debido generalmente a una mala gestión de estos alimentos, cuestiona la sustentabilidad de la actividad.

Según a un informe del año 2008 sobre la tasa de conversión de pescado denominada *Fish in-Fish out* (FIFO), que indica cuantos kilogramos de pescado de captura son necesarios para producir un kilogramo de pescado de una determinada especie, establece que se requieren aproximadamente 5 kg de pescado de captura para generar el alimento balanceado para producir 1 kg de salmón (Tacon & Metian, 2008), es decir una tasa FIFO de 5:1. Sin embargo, otros autores ubican a la tasa FIFO en valores mucho más bajos, 1,7:1 (Jackson, 2009) o incluso menores a la unidad bajo determinadas condiciones. Es por ello que se debe ahondar más en este punto clave para dilucidar cuál es el estado real del consumo de alimentos balanceados en acuicultura.

3.1.3 Antibióticos

La Real Academia Española define antibiótico como “sustancia química producida por un ser vivo o fabricada por síntesis, capaz de paralizar el desarrollo de ciertos microorganismos patógenos, por su acción bacteriostática, o de causar la muerte de ellos, por su acción bactericida. Dicho de otra manera, son medicamentos

utilizados para prevenir y tratar infecciones bacterianas, que cuentan con toxicidad selectiva, es decir la toxicidad hacia los seres invasores es superior a la toxicidad frente a los huéspedes.

Tanto para mejorar la performance de crecimiento como para prevenir posibles epidemias y tratar enfermedades bacterianas, los organismos cultivados son expuestos a distintos tipos de drogas de uso veterinario. Lamentablemente, los antibióticos no siempre se han utilizado de forma responsable en la acuicultura y, en diversas situaciones, el control de su empleo no ha dado la debida garantía de prevención de riesgos para los seres humanos. Cuando los antibióticos se ingieren de forma no intencional como residuos en los alimentos es imposible cuantificar la cantidad ingerida, derivando en posibles problemas para la salud para el consumidor. El consumo de antibióticos en exceso provoca el desarrollo de resistencia a los mismos por parte de bacterias patógenas para el ser humano y otros animales las cuales pueden causar infecciones más difíciles de tratar. Esto último constituye un problema serio al que todavía no se ha prestado la debida atención y que es considerado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como uno de los riesgos más graves para la salud humana a nivel mundial.

3.1.4 Introducción de especies exóticas

Las especies exóticas invasoras tienen efectos devastadores para la biota autóctona, ya que provocan el declive e incluso la extinción de especies autóctonas y afectan negativamente los ecosistemas. Los posibles efectos negativos causados por su introducción a un ecosistema local (contaminación biológica) han sido bien documentados en distintas regiones del planeta y, a pesar del estricto monitoreo de los recintos de cría y la mínima frecuencia de escape, las consecuencias

relacionadas con la introducción de especies exóticas pueden ser graves, destacándose entre ellas, el desplazamiento de especies nativas como consecuencia de la competencia por espacio y alimento, y la propagación de patógenos foráneos que podrían causar un enorme impacto en las poblaciones locales de organismos acuáticos. Luego, en el capítulo 5, se verán maneras de gestionar estas especies de forma de minimizar las posibilidades en caso de manipular especies consideradas exóticas.

Ejemplos de especies exóticas acuáticas en el país son el salmón y la trucha, ambas pertenecientes a la familia de los salmónidos. La trucha fue introducida en el país a principios de siglo XX, proveniente de los Estados Unidos y México, sin tener en cuenta impacto que tendría en los cuerpos de agua patagónicos. Generalmente, las especies foráneas suelen reproducirse rápidamente en su nuevo hábitat, imponiéndose sobre las especies locales en la competencia por alimento, agua y espacio; convirtiéndolas en una de las principales causas de pérdida de diversidad biológica en todo el mundo

3.1.5 Degradación de suelos

En ciertas ocasiones, los criaderos son abandonados por diversos problemas (técnicos, económicos, sanitarios, etc.), y el suelo donde operaron se degrada permaneciendo ácido o hipersalino. Como resultado de esto, la tierra sin tratamiento se vuelve inutilizable para otros propósitos, dejando un pasivo ambiental considerable que pone en riesgo futuros proyectos. De tal forma, la operación de estos recintos no sólo tiene efectos presentes, sino que puede dejar daños ambientales de largo plazo. Por esta razón, los emprendimientos que deban

finalizar sus operaciones deben seguir un procedimiento de abandono adecuado para evitar el daño y la degradación del suelo circundante.

3.2 Consideraciones

Claramente el grado de impacto ambiental del cultivo de peces sobre el ecosistema y el logro de una acuicultura sustentable dependen de una amplia gama de factores entre los que se destaca fundamentalmente la técnica de cultivo empleada. Es por ello que la responsabilidad asumida por el criador, de utilizar todas las herramientas disponibles en el mercado, es de vital importancia para alcanzar un negocio sustentable. Cabe destacar que también hay otros aspectos, considerados en muchas ocasiones como “secundarios”, dentro de los cuales se encuentran, por ejemplo, los posibles efectos negativos sobre la pesca convencional (desde el punto de vista económico), problemas sanitarios que pueden afectar a poblaciones aledañas e, incluso problemas estéticos e impactos sobre el turismo local. Estos últimos no serán trabajados en esta tesis, pero vale la pena mencionarlos ya que constituyen una porción adicional del panorama global de la acuicultura.

En el capítulo 5 se analizarán con mayor grado de detalle algunos de los puntos señalados previamente y otros aspectos relacionados con la sustentabilidad de esta actividad, así como también se señalarán recomendaciones de gestión para lograr llevar adelante la actividad de un modo sustentable.

4. Estado del Arte

La producción mundial de peces comestibles cultivados se apoya cada vez más en la acuicultura continental, la cual suele practicarse en un entorno de agua dulce y ofrece distintas alternativas en cuanto a su forma de explotación.

De forma general, las técnicas de cultivo de peces pueden ser divididas en cuatro categorías:

- Cultivos desarrollados en estanques excavados en tierra.
- Cultivos en piletas o “raceways”.
- Cultivos utilizando jaulas (en agua dulce o salada).
- Sistemas de recirculación en acuicultura.

Los estanques excavados siguen siendo el tipo de instalación más utilizada para la producción de la acuicultura continental, aunque los canales de crianza, los tanques sobre el suelo, los corrales y las jaulas también se utilizan de manera generalizada allí donde las condiciones del lugar lo permiten. El cultivo combinado de arroz y peces sigue siendo importante en zonas en las que es tradicional, pero también se está expandiendo con rapidez, sobre todo en países de Asia.

En la actualidad, se presentan diversas estrategias para lograr una acuicultura más sustentable. Estas estrategias incluyen la elección e implementación de un correcto sistema de cultivo, la selección adecuada de alimento y el mejoramiento de la eficiencia de las técnicas de alimentación y la gestión de efluentes y recursos hídricos. Dentro de estas mejoras existen sistemas de cultivo que, aplicados correctamente logran una elevada eficiencia con respecto al consumo de agua, un

menor impacto en los ecosistemas locales en general y mejores resultados económicos.

4.1 Sistemas de cultivo extensivo e intensivo

Los sistemas extensivos se basan en densidades de población bajas y prescinden del uso de suplementos alimenticios. Estos pueden emplear estanques artificiales, aunque recurren más a menudo a las estructuras naturales existentes como lagos o lagunas (Ver Fig. 12), que suelen tener un tamaño considerable (>2 ha). Su costo operacional al igual que el rendimiento logrado es bajo y depende en gran medida de las variaciones climáticas. Por lo general no se logran rendimientos mayores a 1 t/ha/año (Hurtado, 2013).



Fig. 12: Sistema de cultivo extensivo

Los sistemas semi-intensivos (aproximadamente de 2 a 20 t/ha/año) se basan en densidades de población más elevadas, suplementos alimenticios y manejos adicionales (por ejemplo, cambios en el agua o fertilizantes), empleando

normalmente estanques artificiales de hasta 1 ha, corrales o jaulas. Algunos sistemas semi-intensivos, especialmente los policultivos, emplean lagos naturales (por ejemplo, especies filtradoras y peces omnívoros pueden cultivarse en jaulas ubicadas en estanques de camarones o gambas).

Por otra parte, los sistemas de cultivo intensivos son aquellos que emplean densidades de población elevadas y combinan alimentos naturales y formulados, buscando producir la mayor cantidad de peces en el menor espacio y tiempo posible de forma de optimizar las ganancias del criadero. Los sistemas intensivos en acuicultura consisten principalmente en el cultivo de peces con utilización de un alto flujo abierto de agua cuyo objeto abarca dos propósitos: a) proporcionar oxígeno a los peces y b) retirar los productos de desechos del metabolismo de los animales para que no se acumulen en el propio cultivo ni en sus alrededores. Como se puede observar en la Fig. 13, estos sistemas utilizan pequeñas piletas o estanques artificiales que emplean equipos de bombeo para mantener una constante circulación de agua y aireadores para proporcionar el oxígeno necesario para los peces. Usualmente alcanza rendimientos de 10 t/ha (Hurtado, 2013). Los detractores de este sistema sostienen que la conglomeración de peces en espacios reducidos puede derivar en un aumento de la frecuencia de aparición y propagación de enfermedades entre los peces, uso indiscriminado de antibióticos y malas técnicas de alimentación haciendo a la actividad poco amigable desde el punto de vista ambiental y riesgosa para la salud de los consumidores.

La elección del tipo de estanque y del emplazamiento para una planta acuícola es a menudo la clave para garantizar la higiene y seguridad ambiental. Además del mercado objetivo, los criterios de selección del lugar de instalación incluyen el

suministro y la calidad del agua, la calidad del suelo, la protección frente a los peligros naturales y la accesibilidad a los insumos necesarios para las operaciones, entre otros factores. Las plantas acuícolas requieren un suministro constante de agua en cantidades adecuadas a lo largo del año, el cual no debe estar contaminado y debe caracterizarse por un pH estable y adecuado, así como por niveles óptimos de oxígeno disuelto y escasa turbidez. Algunos productores tratan el agua captada para eliminar las sustancias no deseadas, utilizando para tal fin un filtro que, a su vez, elimina especies depredadoras. Idealmente, las piscifactorías no deberían estar próximas entre sí, ya que esto podría aumentar el riesgo de transmisión de enfermedades y tener un efecto nocivo en la calidad del agua captada.



Fig. 13: Sistema de cultivo intensivo

Por lo general, los sistemas de cultivo requieren enormes cantidades de agua para proporcionar oxígeno a los peces y para retirar los productos del metabolismo que, de lo contrario, se acumularían en el propio cultivo causando efectos negativos

sobre los peces. Por ejemplo, los sistemas abiertos convencionales en estanques estrechos y alargados (denominados “*raceways*”) necesitan recambios de agua cada 20 min aproximadamente para el mantenimiento de la calidad del agua (SAGPyA, 2006). En muchos países, el acceso a este recurso para la acuicultura ha sido regulado y por esta razón muchos inversores han apostado por los “Sistemas de Recirculación en Acuicultura” (RAS, por sus siglas en inglés). Estos sistemas incorporan tratamientos y reutilización de agua, con lo que se alcanza una renovación menor al 10% del volumen total (SAGPyA, 2006). De esta manera se logra la reducción de los impactos ambientales, por minimización de residuos provenientes de los cultivos y reducción del uso de suelo y agua, además de los costos energéticos asociados. Por otra parte, los RAS propician una mayor producción de peces por metro cuadrado de superficie, optimizando las ganancias y reduciendo los costos. Otra ventaja de estos sistemas es la posibilidad que brindan de ubicar al sistema de cultivo en territorios de clima no apto naturalmente para determinadas especies, favoreciendo la cercanía de la producción a los mercados de comercialización.

Cabe aclarar que a medida que se avanza desde un sistema extensivo simple hacia un sistema intensivo de recirculación de agua, el nivel de complejidad de operación se incrementa notablemente a causa del grado de sofisticación de las tecnologías aplicadas y al amplio abanico de arreglos disponibles, cuyas variables deben ser bien comprendidas por los operadores. Los sistemas semi-intensivos e intensivos en acuicultura, deben ser muy bien regulados en cuanto al mantenimiento de la calidad de agua del sistema de tal forma que los organismos mantengan su

bienestar en cautiverio, dado que los productos finales obtenidos deben poseer alta calidad y además no deben ocasionar pérdidas al productor.

4.2 Cultivos integrados

Aparte de las cuatro opciones tradicionales de producción acuícola mencionadas anteriormente existen los denominados cultivos integrados, los cuales combinan en proporciones adecuadas el cultivo de diferentes especies en un mismo sistema. El objetivo de esta técnica se centra en el beneficio mutuo que se genera entre las especies cultivadas como resultado de la asimilación recíproca de los subproductos que emiten de cada una de ellas, es decir, los desechos de una especie pueden ser reciclados para que sirvan de insumo para otra. De esta manera se crea un sistema ambientalmente balanceado, económicamente estable y socialmente aceptado.

Los sistemas de cultivo integrado son extremadamente variables, permitiendo cultivar diversos organismos acuáticos con diferentes tipos de especies vegetales. Por ejemplo, la cría extensiva de peces en arrozales constituye un tipo de cultivo integrado milenario (Hay evidencia de este tipo de práctica en la China del siglo I a.C) aún vigente en muchos lugares del mundo, incluidos la Argentina. Este sistema de producción permite aumentar la productividad del agua, la tierra y los recursos asociados a la vez que contribuyen a aumentar la producción de pescado. De manera similar, la actividad combinada del cultivo intensivo de peces con el cultivo hidropónico de vegetales, unidos mediante un sistema de recirculación (Acuaponía) busca el mismo objetivo: aumentar la productividad de los recursos involucrados de forma sustentable (Fig. 14). En estos sistemas, los metabolitos excretados al agua por los peces durante su cultivo son sometidos a un sistema de

filtrado y procesos biológicos, quedando disponibles como nutrientes para las plantas; las que los extraen del agua, haciendo el papel de purificadoras y reduciendo considerablemente la renovación de agua dentro del sistema.



Fig. 14: Sistema de cultivo acuapónico (Acuaponía e hidroponía, 2019)

No cabe duda de que sumar el cultivo hidropónico al ya existente cultivo intensivo de peces agrega un grado mayor de complejidad operativa, pero aplicando una serie de reglas prácticas y con el suficiente conocimiento de la ciencia que interviene en los procesos biológicos y fisicoquímicos es posible poner en marcha un sistema acuapónico exitoso. Asimismo, existen diversas técnicas acuapónicas que combinan distintos arreglos hidropónicos en función del objetivo de producción y de las condiciones ambientales locales. Posteriormente se analizarán tres técnicas muy difundidas en el mundo de la acuaponía, remarcando sus ventajas, desventajas y campos de aplicación.

Un paso más adelante en el camino de la acuicultura sustentable se encuentra la “Acuicultura Multitrófica Integrada” (o IMTA, por su sigla en inglés), la cual involucra el cultivo simultáneo de organismos de diferentes niveles tróficos unidos por el intercambio de nutrientes y energía a través del agua (Fig. 15). El objetivo principal del IMTA es lograr un sistema sustentable, con lo cual el criterio de selección de especies se basa en la imitación del ecosistema natural y para ello se debe tener en cuenta una serie de requisitos como:

- Roles complementarios entre las especies.
- Adaptación al hábitat.
- Condiciones ambientales del sitio y tecnologías de cultivo.
- Habilidad de proveer biomitigación de forma continua y eficiente.
- Demanda del mercado y comercialización.

La implementación de estos sistemas mejora notablemente la calidad del agua debido a una mayor tasa de ciclado de nutrientes utilizados como alimento por los diferentes organismos y como consecuencia reduce el recambio de agua y sus consumos asociados. Naturalmente, la complejidad de estos sistemas es aún mayor y su grado de aplicabilidad está más restringido ya que no busca la modificación de las condiciones del entorno sino una adaptación a ellas, es por ello que la compatibilidad entre especies en un mismo hábitat debe estar muy bien estudiado para lograr cultivarlas con éxito.

Cabe destacar que el sistema IMTA es utilizado en Chile para el cultivo *offshore* de Salmón y también fue la tecnología propuesta para el desarrollo del proyecto

productivo de salmones en el estrecho de Beagle, en Argentina, tema será analizado en el punto 5.4 de este trabajo.

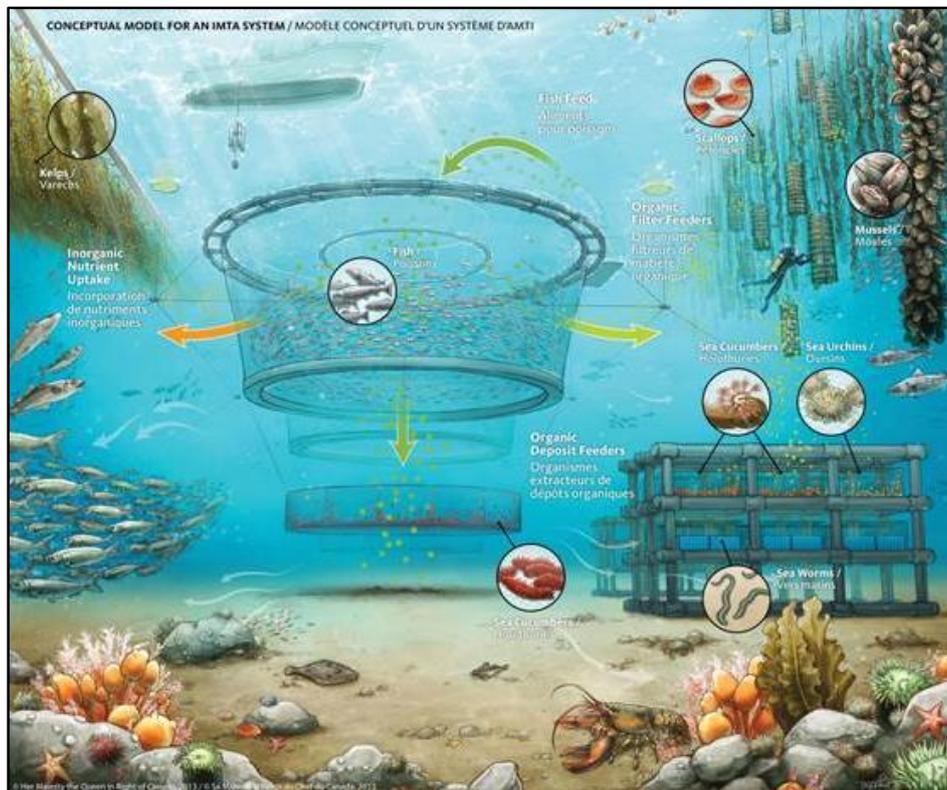


Fig. 15: Modelo conceptual de un sistema IMTA (Fisheries and Oceans. Integrated Multi-Trophic Aquaculture, 2019)

Más adelante, en el capítulo 7 se revisarán estos conceptos con mayor profundidad, haciendo hincapié en los sistemas de recirculación cerrada, los cuales se están popularizando cada vez más en nuestro país.

5. Sustentabilidad

Para que una actividad sea considerada sustentable, deben atenderse simultáneamente los aspectos ambientales, económicos y sociales. Esta actividad necesita ser rentable desde el punto de vista de un retorno adecuado de las inversiones, del desarrollo económico, desde la estrategia de seguridad alimentaria y alivio de la pobreza. De igual manera, es preciso promover el bienestar social a través de la oferta de empleo y de la creación de un ambiente agradable de trabajo, así como también de la creación de oportunidades de desarrollo social en el entorno. Finalmente, debe contribuir a la preservación de los recursos naturales, tanto de aquellos existentes en el entorno y directamente utilizados por las actividades productivas, como de aquellos empleados por otras funciones de soporte de las que dependa. Al mismo tiempo, por definición, el desarrollo sustentable cuenta con una variable temporal, es decir que la capacidad de satisfacción de las necesidades debe mantenerse invariable a lo largo de las generaciones. Este establece un punto de equilibrio entre los tres pilares: económico, social y ambiental, y lo mantiene estable en el tiempo (Fig. 16).

En los últimos años el concepto de desarrollo sustentable ha sido definido de muchas formas, pero probablemente la más relevante para la temática de este trabajo establece que es la habilidad de un ecosistema de mantener sus procesos ecológicos, biodiversidad biológica y productividad en el tiempo. Uno de los mayores retos para el desarrollo sustentable en la industria acuícola es la minimización de la degradación ambiental asociada a su continua expansión. Lamentablemente, tanto en acuicultura como en otras actividades productivas, existe una visión a corto plazo con una valoración desequilibrada de los aspectos

económicos en detrimento de los sociales y ambientales. El objetivo está puesto en maximizar la producción dentro de las limitadas condiciones de espacio, de recurso hídrico y de la capacidad biológica de los animales que se producen en cada establecimiento. No se debe olvidar que los emprendimientos acuícolas son altamente dependientes de la calidad ambiental, por ello, la operación al límite de su capacidad de sustentación compromete los resultados a mediano y largo plazo, al tornarse más competitivo el sector, debido a reducciones en los precios o menores márgenes para errores e ineficiencias. La excesiva intensificación de los cultivos demanda una alta inversión inicial, provoca una mayor demanda de energía y aumenta la incidencia de las enfermedades, entre otros aspectos relevantes. Sumado a ello, se genera una alta dependencia del uso de medicamentos, probióticos y otros productos químicos, causando que los costos se eleven aún más, que las ganancias disminuyan sensiblemente y la actividad se vuelva poco rentable.

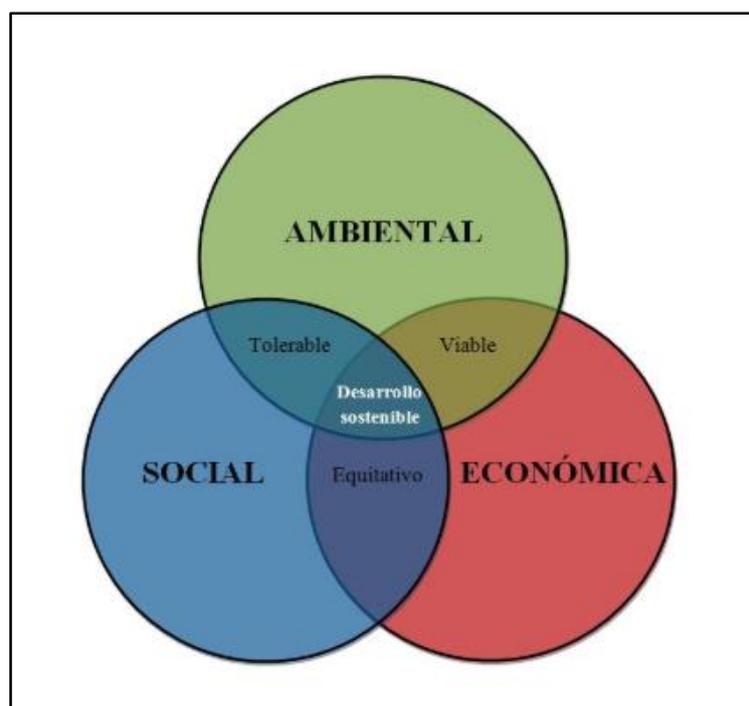


Fig. 16: Triángulo del desarrollo sustentable

Desde el punto de vista ambiental, el camino a seguir para alcanzar la sustentabilidad debe tener en consideración las limitaciones biológicas de cada sistema de producción, el uso integrado de los recursos, la preservación y, hasta en caso de ser necesario, la restauración de la calidad ambiental. Teniendo todos estos factores en cuenta, este capítulo estará orientado a determinar, en primer lugar, cuáles son los requisitos básicos para que una actividad industrial acuícola pueda ser considerada sustentable. Luego se analizarán aquellos aspectos considerados críticos dentro de la actividad, como lo son la utilización de alimento balanceado, antibióticos, fuentes de energía, etc.; resaltando una serie de recomendaciones basadas en las “Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para la acuicultura” brindadas por la corporación financiera internacional con el fin de operar una actividad acuícola sustentablemente. El objetivo último es comprender las múltiples variables que intervienen en esta actividad para, de esta manera, buscar soluciones tecnológicas que estén a la altura de los desafíos planteados y permitan implementar adecuadamente un sistema productivo sustentable.

5.1 Prerrequisitos para la acuicultura sustentable

5.1.1 Límites de producción

En acuicultura, el concepto “límite de producción” se refiere a la capacidad máxima del ambiente para asimilar residuos orgánicos y nutrientes generados por la actividad acuícola en un periodo de tiempo determinado, también conocido como capacidad de carga del sistema. Operando por encima de la capacidad de carga, la actividad corre grandes riesgos de mortalidad de peces debido a problemas de calidad de agua y por enfermedades. Los sistemas de producción intensivos, con su elevada densidad de población, corren el riesgo de sobrepasar dicho límite

fácilmente y causar efectos adversos en la especie cultivada y el entorno. Es por ello que, inicialmente se debe determinar la capacidad de carga del sistema y operar con un factor de seguridad por debajo de esta, con valores de biomasa ambientalmente sustentable.

5.1.2 Aprovechamiento de la productividad primaria

En el caso del cultivo de peces realizado en estanques con baja renovación de agua, existe un gran aumento de la productividad primaria debido al aporte de los nutrientes, proporcionados por el alimento balanceado ofrecido a los animales, la fertilización y las excreciones de los mismos. Así, dentro de una gran diversidad de especies potencialmente cultivables, y aceptadas en el mercado, debe optarse preferentemente por el cultivo de especies capaces de aprovechar de la forma más eficiente posible los alimentos naturales y el detrito orgánico generado en el ambiente de cultivo, reduciendo la carga orgánica y el volumen de efluentes generado. Teniendo esto en cuenta, las especies que consumen fitoplancton (alimento natural masivamente abundante en los estanques de cultivo) resultan ser las más indicadas para el cultivo en los estanques excavados en tierra, al igual que el policultivo con especies de peces detritívoros y planctófagos. Por ejemplo, el Pacú cumple con ambas cualidades ya que es una especie que aprovecha al máximo los alimentos naturales del ambiente de cultivo en este tipo de estanques y a su vez, es apto para ser producido en combinación con otros cultivos de manera integrada.

5.1.3 Mínimo uso de agua y aporte de efluentes

La reglamentación y el control relacionado al uso de los recursos hídricos y la calidad de los efluentes se hace cada vez más estricto en todo el mundo. Es por esta razón que los sistemas de producción basados en un uso mínimo de agua, como por ejemplo los sistemas RAS, tendrán cada vez mayor preponderancia no sólo en el rubro acuícola sino también en todas las industrias que hacen uso de este preciado recurso. Una forma de aprovechar el agua es reutilizándola en el próximo ciclo de producción o para otros estanques de cría, lo cual reduce de forma significativa el uso de correctivos (como cal) y fertilizantes, y a su vez posibilita el inicio de un próximo ciclo de cultivo con buena cantidad de alimento natural (plancton) presente en los cerramientos. Además, los sistemas de baja renovación y aprovechamiento de agua minimizan o hasta eliminan el riesgo de escape de peces hacia el ambiente, cuestión especialmente importante cuando se trabaja con especies exóticas.

Los sistemas de uso mínimo de agua son especialmente indicados para el cultivo intensivo en aquellas áreas o regiones en donde el agua es un recurso escaso, ampliando aún más las posibilidades de producción acuícola.

5.1.4 Menor dependencia del uso de energía

Para lograr reducir costos y ser a la vez ambientalmente sustentable, es necesario optimizar el consumo de energía por tonelada de pescado producido. Esto puede lograrse con la adopción de sistemas de producción menos intensivos, poco dependientes del uso energético para aireación y bombeo de agua; o a través del mejoramiento tecnológico. Haciendo uso de equipos más eficientes con nuevos

sistemas intensivos de producción, como los que involucran recirculación y tratamiento de agua que, a pesar de su gran dependencia energética, posibilitan producir grandes volúmenes de pescado con limitado uso de agua y espacio; minimizando además los efluentes generados. Más allá del sistema de producción seleccionado, es aconsejable implementar políticas de eficiencia energética, medir y optimizar el uso de los equipos del sistema productivo.

5.1.5 Uso de alimentos de alta calidad

Las deficiencias nutricionales de los peces se traducen en una mayor incidencia de enfermedades en los sistemas productivos, particularmente en aquellos más intensivos. Las raciones de alta calidad y digestibilidad maximizan el crecimiento y la eficiencia alimentaria, preservando más tiempo la calidad del agua en los sistemas de cultivo, lo que fortalece el sistema inmunológico de los peces y mejora la sanidad del sistema por reducción de la incidencia de enfermedades y mortalidades durante el cultivo. De esta forma, se contribuye también a la reducción de los costos de producción y a la reducción del aporte de nutrientes por unidad de pescado producido. Por lo tanto, es imprescindible invertir en la compra de alimento balanceado de alta calidad, con un adecuado balance nutricional y un enriquecimiento vitamínico y mineral de las raciones empleadas en acuicultura intensiva para mantener la salud de los animales bajo cultivo y evitar altas tasas de mortandad.

Otro punto clave se centra en la tendencia a la reducción de harinas y aceites de pescado para la fabricación de las raciones. Actualmente, se capturan alrededor de 20.000.000 t anuales de peces, exclusivamente para elaboración de harinas y aceites de pescado (FAO, 2018). Con el aumento de la población mundial (se

estima que habrá 9.700 millones de habitantes para el año 2050), buena parte de este pescado que hoy se utiliza para fabricar harina y aceite de pescado, deberá servir directamente al consumo humano. El uso de raciones formuladas en base a ingredientes vegetales y en subproductos de la industria animal en sustitución de la harina de pescado, disminuirá el uso de los recursos pesqueros y contribuirá a la sustentabilidad de la acuicultura y de otras producciones animales.

5.1.6 Cultivo de especies de bajo nivel trófico

Siempre que sea posible, se debe optar por especies capaces de aprovechar alimentos naturales y/o convertir eficientemente las raciones formuladas a base de ingredientes vegetales, con mínima dependencia de la harina de pescado. Sin embargo, el concepto que sostiene que el cultivo de peces de hábito carnívoro u omnívoro, como lo son el salmón y la trucha, representan una actividad no sustentable desde el punto de vista ambiental, o poco eficiente en términos de producción de carne; generalmente se derrumba cuando estas especies son producidas con raciones basadas en granos y harinas de subproductos de la industria animal, tendencia que se puede observar cada vez con mayor frecuencia en la acuicultura mundial.

5.1.7 Uso de recursos de forma compartida

El uso de recursos de manera compartida permite aumentar la eficiencia de las actividades productivas, generar nuevas posibilidades de desarrollo económico y reducir ciertos impactos ambientales negativos. Ejemplos de este tipo se encuentran en los sistemas de producción integrados, como el caso del cultivo de peces en combinación con arroz o en las áreas con embalses que ofrecen las

grandes centrales hidroeléctricas, que pueden ser de uso compartido para diversas actividades (generación de energía, abastecimiento urbano y rural de agua, irrigación, recreación, acuicultura, etc.). Este último caso posibilita un gran avance en la producción de peces en jaulas suspendidas en cuerpos de agua, como sucede actualmente con la producción de trucha arcoíris en los embalses Alicurá y Piedra del Águila en las Provincias de Neuquén y Río Negro. Este ejemplo podría ser imitado en otras regiones del país y, de esta manera, potenciar la industria acuícola regional, generar mayores oportunidades de trabajo, renta, ascenso económico, bienestar social, producción de alimento de calidad y valores económicos.

5.1.8 Sistema de producción integrados

Como se mencionó anteriormente y siempre que sea posible, los emprendimientos acuícolas deberán aprovechar los beneficios de la integración con otras actividades productivas con el fin de alcanzar beneficios mutuos en el uso de recursos, insumos y subproductos. Un modelo bastante difundido es la integración de la acuicultura con otros cultivos agrícolas, a través del riego con agua de descarte de los estanques de cultivo, o almacenada en los reservorios empleados para producción de peces libres o cautivos en jaulas. También pueden establecerse cultivos agrícolas en los propios estanques de producción de peces, aprovechando el incremento en fertilidad de los suelos de sus fondos, luego de un ciclo de producción, procediendo así, a rotar los cultivos (por ejemplo, un año arroz - un año peces). Los residuos de los cultivos y de los subproductos agrícolas también pueden utilizarse como alimento suplementario para los peces en sistemas menos intensivos, combinados con la fertilización de los estanques.

Los establecimientos agrícolas que complementan adecuadamente la piscicultura con la producción de cerdos o aves suelen producir beneficios mutuos para ambas actividades. El estiércol de los animales puede ser utilizado para estimular la producción primaria y, con ello, la producción de peces planctófagos y detritívoros con un uso mínimo de raciones externas, lo que se traduce en menores costos operativos y menor impacto ambiental.

5.2 Recomendaciones para la sustentabilidad

Las cuestiones ambientales relacionadas al sector acuícola incluyen principalmente amenazas a la biodiversidad, contaminación de sistemas acuáticos, utilización de materiales peligrosos y derroche de recursos naturales. Todos estos aspectos son considerados críticos a la hora de determinar si esta actividad productiva es considerada sustentable o no, y si realmente contribuye a minimizar la presión del hombre sobre el ambiente en general.

Debido a que la biodiversidad presta servicios ambientales de valor incalculable para la humanidad, es esencial preservarla para mantener el equilibrio natural y lograr el objetivo de operar una actividad productiva de manera sustentable. Una erosión de la biodiversidad regional no solo afectaría la estructura y la función de los ecosistemas, sino que también reduciría el potencial de dichos sistemas para adaptarse a nuevos desafíos como el crecimiento demográfico y el cambio climático. Es por ello que, recientemente, algunos gobiernos han contraído compromisos internacionales para dar respuesta al franco deterioro de la biodiversidad global como, por ejemplo, acuerdos para la conservación de la biodiversidad marina en el marco de la Agenda 2030 y el Convenio sobre la

Diversidad Biológica (CDB), sin embargo, lejos se encuentra el mundo todavía de dar cumplimiento a los principios de tal convenio.

De acuerdo al informe “Evaluación Global sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas”, presentado en mayo de 2019 por la Plataforma Intergubernamental de Ciencia y Política sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas (IPBES, por sus siglas en inglés), se estima que cerca de un millón de especies animales y vegetales están en peligro de extinción debido, fundamentalmente, a la sobreexplotación de los recursos naturales por parte del hombre. El objetivo de este informe es evaluar cambios que tuvieron lugar en las últimas cinco décadas y proveer una visión integral de la relación entre los caminos del desarrollo económico y su impacto en la naturaleza. Así, determina la ubicación de la humanidad con respecto a los objetivos planteados en acuerdos internacionales clave como los Objetivos del Desarrollo Sostenible (SDG, por sus siglas en inglés), los Objetivos de Biodiversidad de Aichi o el Acuerdo de París sobre Cambio Climático; examinando las causas de los cambios en la biodiversidad y los ecosistemas, las implicancias para la humanidad y escenarios futuros.

Algunas cifras arrojadas por el reporte incluyen:

- El 75% de los ambientes terrestres y el 66% de los ecosistemas marinos han sido severamente modificados, y la mayoría de ellos continúa sufriendo un proceso de degradación.
- Se observa una reducción del 20% de la abundancia promedio de especies nativas en la mayoría de los hábitats terrestres, mayormente durante el siglo XX. Más del 40% de las especies de anfibios, casi el 33% de los corales y más de un tercio de todos los mamíferos marinos están amenazados.

- Más de un tercio de la superficie terrestre y cerca del 75% del agua dulce del planeta es utilizada para la agricultura y ganadería.
- Entre 100-300 millones de personas están expuestos a inundaciones y huracanes a causa de la pérdida de hábitats costeros y su protección.
- La contaminación por plástico se incrementó por diez desde 1980.
- Entre 300-400 millones de toneladas de metales pesados, solventes, lodos tóxicos y otros efluentes industriales son arrojados anualmente a las aguas del planeta. Los residuos de fertilizantes que ingresan a los hábitats costeros han producido más de 400 “zonas muertas” (Equivalente a 245.000 km²).
- Más del 55% de la superficie oceánica está cubierta por pesca industrial.
- En 2015, el 33% de las poblaciones de peces marinos se capturaban en niveles insostenibles, el 60 % se pescó al nivel máximo de sostenibilidad de la especie y solo un 7% se extrajo a niveles inferiores a los que se pueden pescar de manera sostenible.
- En 2011, más del 33% del volumen de la pesca de captura fue realizada de manera ilegal, no reportada o no regulada (Fig. 17).

El Informe también presenta una amplia gama de acciones ilustrativas para lograr la sustentabilidad en sectores como la agricultura, la silvicultura, en sistemas marinos y de agua dulce, en áreas urbanas, etc. Además, destaca la importancia de adoptar enfoques de gestión integrada e intersectorial que tengan en cuenta la producción de alimentos y utilización de energía, la infraestructura, la gestión de agua dulce y la conservación de la biodiversidad, entre otros. En este sentido,

resalta la importancia de implementar un enfoque basado en el cuidado de los ecosistemas para la gestión de recursos pesqueros y acuícolas en general.

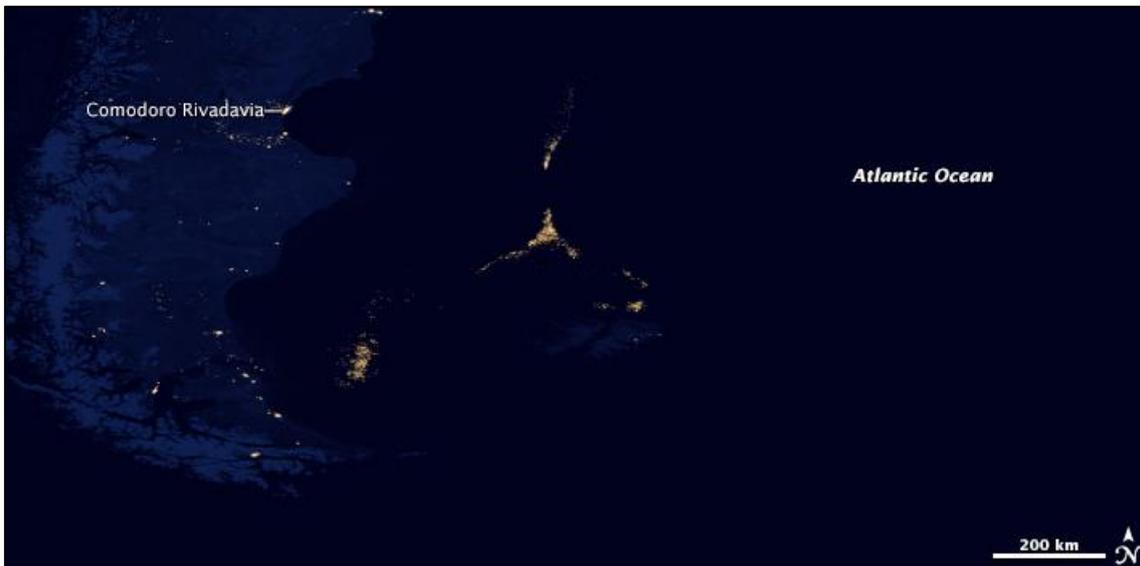


Fig. 17: Luces nocturnas mostrando actividad pesquera a lo largo de la zona económica exclusiva argentina. (NASA Earth Observatory/NOAA National Geophysical Data Center, 2012)

Más allá de lo establecido por el informe del IPBES y, si bien la acuicultura suele ser considerada como una solución clave a la pérdida de biodiversidad marina y a los problemas de alimentación de la población mundial, hay ciertas amenazas que pueden tener efectos significativamente negativos sobre los ecosistemas receptores que deben examinarse a la hora de querer implantar un emprendimiento acuícola sustentable. Estas amenazas incluyen principalmente la transformación de hábitats naturales durante la fase de construcción del establecimiento acuícola, la introducción de especies foráneas en el medio natural durante las operaciones, el vertido de aguas residuales sin tratar a los cuerpos de agua circundantes, la utilización de alimentos de baja calidad y el desarrollo de la resistencia antibiótica en las bacterias patogénicas que pueden propagarse de las

piscifactorías a la biota silvestre a causa de su utilización en exceso y de forma imprudente. Asimismo, un pobre diseño del sistema acuícola puede redundar en ineficiencias con respecto al uso de energía y consecuentemente, en pérdida de rentabilidad y mayores impactos ambientales. Es por todas estas cuestiones que las siguientes páginas estarán dedicadas a analizar, desde la óptica de buenas prácticas de manufactura, las principales problemáticas asociadas a la actividad piscícola y proporcionar soluciones basadas en documentos de referencia técnica y guías sobre medio ambiente, salud y seguridad, específicos de la práctica internacional recomendada para esta particular industria. Las guías proporcionan información relevante sobre la acuicultura comercial semi-intensiva e intensiva de las principales especies acuáticas y brindan un marco de referencia dentro del cual el profesional puede llevar adelante una instalación acuícola exitosa. Por ello es fundamental promocionar e implementar buenas prácticas de manejo y manufactura en acuicultura dando lugar a proyectos acuícolas más amigables con el medio ambiente.

5.2.1 Construcción y operación

Las fases de construcción y operación de un proyecto acuícola pueden requerir la transformación del medio natural, lo que en muchos casos implica excavar estanques o la alteración de la hidrología natural de lagunas, bahías, ríos o zonas húmedas. Los posibles efectos relacionados a cambios en la hidrología de los cursos de agua provocados por la construcción de barreras o diques artificiales pueden ser devastadores para determinadas especies de la fauna silvestre y modificar profundamente el ecosistema. Asimismo, los movimientos de suelos, materiales y maquinaria pesada contribuyen a deteriorar los sitios de futura

explotación y, si bien no causan un impacto tan fuerte como la modificación de un curso de agua, pueden dañar severamente el ambiente natural del lugar.

Para prevenir y reducir el impacto ambiental provocado por la construcción de plantas acuícolas pueden adoptarse una serie de medidas de gestión cuya aplicación depende, en mayor o menor medida, del nivel de complejidad del proyecto. Entre ellas se pueden mencionar:

- Realizar una prospección de la zona del proyecto antes de transformar la tierra y el agua para la producción acuícola. Dicha prospección tiene como objetivo identificar, clasificar y delinear los hábitats naturales y modificados y definir su importancia en términos de biodiversidad a escala nacional o regional.
- En línea con la recomendación anterior y en función del nivel de complejidad del proyecto, debería ponderarse la posibilidad de realizar un estudio de impacto ambiental que contemple los efectos de la nueva instalación y contenga un plan de mitigación y gestión ambiental.
- Diseñar instalaciones que permitan conservar el hábitat natural y que minimicen su transformación y degradación, implementando medidas de mitigación para lograr que no haya pérdida de biodiversidad siempre que sea posible.
- Garantizar que la zona que se pretende convertir para su uso acuícola no constituye un hábitat único o protegido ni tenga un alto valor en términos de biodiversidad, como es el caso de los entornos habitados por especies amenazadas o en peligro de extinción y de las zonas relevantes donde la fauna se reproduce, alimenta o hace escala. En caso de instalaciones ya

operativas, se debería detectar la presencia de especies amenazadas o en peligro de extinción e implementar procesos de gestión que tengan en cuenta su existencia

- Diseñar un plan de cierre de las instalaciones para la restauración de los hábitats una vez finalizada la operación que incluya la compensación de las pérdidas mediante la creación de zonas ecológicamente comparables con vistas a proteger la biodiversidad y compensar también a los usuarios directos de los servicios ambientales.
- Evitar la necesidad de abandonar y sustituir con frecuencia los estanques acuícolas de diseño y construcción defectuosos.
- En el caso de la construcción de estanques excavados en tierra, se deben evaluar las propiedades del suelo antes de proceder a su construcción para obtener el coeficiente de filtración/porosidad y determinar requerimientos extras de materiales como arcillas, bentonitas o geomembranas. Un suelo con elevado índice de filtración y sin aislación adecuada puede permitir el paso de agua contaminada hacia las aguas subterráneas cercanas necesarias para otros fines, siendo el problema más preocupante el uso de agua potable.
- Evaluar otras propiedades del suelo como el pH y la presencia de plaguicidas y residuos contaminantes (especialmente en aquellas tierras previamente utilizadas para la agricultura intensiva).

5.2.2 Introducción de especies foráneas

La introducción de especies exóticas en un ecosistema puede perturbar por sí sola el equilibrio ecológico existente, provocar la pérdida de biodiversidad, mermar la

diversidad genética de las poblaciones autóctonas, reducir la idoneidad de la población silvestre mediante el cruce con especímenes genéticamente modificados y provocar la transmisión y propagación de enfermedades transmitidas por los peces. También, estas especies representan una competencia sobre recursos vitales como agua y alimento, lo que genera una mayor presión sobre el ecosistema y sobre las especies locales.

Como se verá más adelante en este trabajo, en Argentina la Ley Nacional 27.237 que trata sobre el desarrollo sustentable del sector acuícola, dedica un artículo a determinar responsabilidades derivadas de la adquisición y cría de especies consideradas exóticas que fueran autorizadas para su cultivo y producción por las respectivas autoridades competentes. Allí establece que el acuicultor será responsable de asegurar la contención de los individuos bajo cultivo en el ámbito de su explotación, impidiendo su acceso a las aguas que drenen hacia las cuencas hidrográficas del territorio argentino o cuencas hidrográficas compartidas con países vecinos a los fines de evitar, en lo posible, toda contaminación genética de la propia fauna autóctona. Para ello, se proporcionan ciertas medidas tendientes a reducir los riesgos resultantes de la introducción de especies foráneas, criadas selectivamente o modificadas genéticamente. Entre ellas se destacan las siguientes:

- La cría de peces estériles, para evitar su reproducción.
- El monitoreo constante de los individuos en el recinto de cría.
- Prevenir el escape de especies de los sistemas de cultivo en estanques mediante la instalación de rejas cuya malla sea lo bastante pequeña para impedir la entrada y salida de las especies acuáticas.

- Instalar sistemas de filtración de grava en las estructuras de descarga de los estanques.
- Diseñar un plan de contingencia en caso de que se produzca un escape de especímenes acuícolas exóticos.
- En lo posible, se deben adoptar sistemas de tanques separados de cualquier cuerpo de agua de manera de eliminar directamente la posibilidad de escape e introducción en un ecosistema acuático diferente.

Si bien es preferible optar por especies que no intervengan negativamente en el hábitat seleccionado para su cría, si se siguen estas reglas y se lleva un control estricto de todos los parámetros relacionados con el recinto (monitoreo, mantenimiento, mejoras tecnológicas, etc.) y la especie interviniente, es posible conducir satisfactoriamente un proyecto acuícola basado en especies foráneas.

5.2.3 Aceite y harina de pescado

El aceite y la harina de pescado se obtienen gracias a la captura y procesamiento de poblaciones de peces pelágicos silvestres (especies que viven en aguas medias o cerca de la superficie como las anchoas, arenques, sardinas, etc.) y constituyen el principal alimento balanceado fuente de proteínas y lípidos en la dieta alimentaria de los peces de criadero. La harina de pescado es un material proteico harinoso que se obtiene tras la molienda y el secado del pescado entero o de partes de este, mientras que el aceite de pescado se obtiene mediante el prensado del pescado cocido y su posterior centrifugación y separación. Estos productos se pueden obtener a partir del pescado entero, sus restos u otros subproductos derivados del procesamiento del pescado y se suelen comercializar en bolsas de 40 kg en el caso de la harina o en tambores de 200 L en el caso del aceite (Fig. 18). La selección del

tipo, cantidad y calidad de alimento balanceado es fundamental para la confección del análisis de rentabilidad de un proyecto acuícola ya que puede llegar a representar, dependiendo del caso, hasta el 85 % de los costos operativos del criadero (Ministerio de Agroindustria , 2018).



Fig. 18: Harina y aceite de pescado (Coomarpes Ltda.)

Una proporción considerable, aunque decreciente en el tiempo, de la producción pesquera mundial se transforma directamente en harina y aceite de pescado. En el año 2016 la mayor parte del 12% del pescado de captura empleado para usos no alimentarios (alrededor de 20 millones de toneladas) se destinó a la preparación de harina y aceite de pescado (FAO, 2018). No obstante, la producción de harina de pescado alcanzó su máximo en 1994 con 30 millones de toneladas en peso vivo y desde entonces ha seguido una tendencia fluctuante, pero en general descendente debido, principalmente, al mejoramiento en la eficiencia del uso de subproductos (viseras, cabezas, escamas, etc.). A causa de la creciente demanda de harina y aceite de pescado de alta calidad, en particular por la industria de acuícola, junto con la subida de los precios internacionales, está aumentando la proporción de

harina obtenida a partir de subproductos de pescado que anteriormente se solían desechar. Se estima que los subproductos representan aproximadamente entre el 25% y el 35% del volumen total de la harina y el aceite de pescado producidos (FAO, 2018) y se cree que este porcentaje irá creciendo con el tiempo. Adicionalmente, estos insumos se están utilizando cada vez más de manera selectiva, por ejemplo, para fases específicas de producción, con lo cual se incrementó significativamente la eficiencia en su aplicación.

Como es posible apreciar, la acuicultura intensiva es altamente dependiente de la industria pesquera como fuente de ingredientes para la fabricación de harinas y aceites de pescado utilizados como alimento para peces en cultivo. Esta dependencia es muchas veces descripta cuantitativamente por la tasa Fish In-Fish Out (FIFO), que indica la cantidad equivalente de pescado de captura necesario para generar 1 kg de pescado cultivado. La tasa FIFO ha sido fuente de controversias y de intenso debate en los últimos años debido a los resultados arrojados por el informe del año 2008 *“Global overview on the use of fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects”* de A. G. Tacon y M. Metian, en el cual los autores desarrollan un método para calcular esta tasa para diferentes especies de peces cultivados. En el caso del salmón, especie popularmente considerada como ineficiente con respecto a su alimentación en criadero, el estudio determinó que para cultivar 1 kg del mismo se requiere el equivalente a 5 kg de pescado silvestre para forraje, es decir una tasa FIFO de 5:1. Su argumento se basaba en que las dietas típicas de salmones contienen un 20% de aceite de pescado y un 30% de harina de pescado, y que una tonelada de pescado para forraje produce 50 kg de aceite y 225 kg de harina, con lo cual una tonelada

de pescado de forraje genera 250 kg de alimento y, suponiendo un factor de conversión de 0,8 (heurístico), el FIFO toma el valor de 5 (Los cálculos se encuentran desarrollados en el Anexo II). Sin embargo, desde esta óptica se desperdician o no se tienen en cuenta 150 kg de harina, lo que constituye un grave error de análisis que no refleja la realidad del mercado y da lugar a un modelo incompleto. Las fuerzas del mercado no permitirían un desperdicio semejante de harina de pescado ya que representa un costo intolerable para las compañías productoras de alimento y, de presentarse un excedente de tal producto, este se utilizaría en la formulación de alimentos para otras especies animales que no requiriesen la inclusión de altas cantidades de aceite de pescado.

Un año más tarde a la presentación del informe de Tacon y Metian, Andrew Jackson, director técnico de la "International Fishmeal and Fish Oil Organization" (IFFO), organización internacional de comercio que promueve la industria de los ingredientes marinos, confeccionó un informe refutando los resultados obtenidos por Tacon y Metian. En este nuevo informe, Jackson afirmó que los resultados anteriores estaban extrañamente acotados, sus cálculos no tenían en cuenta la utilización de subproductos de pescado y lo único que lograron fue dañar la imagen de la industria de los ingredientes marinos. Asimismo, Jackson recalculó el valor de la tasa FIFO teniendo en cuenta el desperdicio y consiguió un valor para el salmón de 1,7:1 (Jackson, 2009), es decir un tercio del valor arrojado por Tacon y Metian. Si bien el método de Jackson se asemeja más a la realidad, este subestima el peso relativo del aceite de pescado y sobreestima el peso relativo de la harina de pescado en la fórmula de FIFO, dando como resultado un valor demasiado conservador. Para solventar las desventajas de ambos métodos, un estudio

realizado en el año 2015 propuso combinar los dos métodos para el cálculo de la tasa FIFO, cuyo valor en el caso del salmón fue de 2:1 (Terpstra, 2015).

Si se tiene en cuenta que los subproductos de pescado representan aproximadamente entre el 25% y el 35% del volumen total de la harina y el aceite de pescado producidos (FAO, 2018), todos los valores calculados previamente se reducen aún más. Por ejemplo, la tasa FIFO por el método combinado para el salmón sería de 1,4 a 1,6, valores que tienen en cuenta no sólo la utilización del desperdicio sino también la incorporación de subproductos en su composición. A pesar de estos últimos cálculos, el concepto de FIFO sigue siendo utilizado por algunos medios, activistas y ONGs, quienes se aferran a los resultados erróneos obtenidos por Tacon y Metian para tildar a la acuicultura, y especialmente a la salmonicultura, de insostenible y negativa para el ambiente.

Más allá del valor intrínseco que tiene la tasa FIFO para comparar el grado relativo de sustentabilidad entre distintas especies acuícolas cultivables, esta métrica desvía la atención de las implicaciones para la salud humana de cómo se crían los peces. La tasa no tiene en cuenta el contenido de ácidos grasos omega 3 por unidad de masa, el cual es menor en peces alimentados a base de alimentos procesados con ingredientes marinos con respecto al pescado silvestre. Aun así, la harina y el aceite de pescado producido bajo altos estándares productivos continúan siendo uno de los alimentos más eficientes en términos de sustentabilidad que contribuyen a la ganancia global de biomasa y al aumento del contenido de ácidos grasos benéficos para la salud humana. Además, los ingredientes marinos también aportan a la fabricación de otros productos importantes como alimentos para ganado, mascotas y otros animales de cría; fertilizantes orgánicos; aceite con

omega 3 para consumo humano; etc., que no son tenidos en cuenta para el cálculo de la tasa FIFO.

Actualmente, la alimentación “pescado a pescado” es la única manera de asegurar que el pescado cultivado tenga beneficios a la salud comparables a los del de captura. Por lo tanto, si el objetivo es proveer un alimento saludable, sustentable y de buena calidad nutricional, los criadores deben continuar suplementando la dieta de los peces con alimentos a base de harina y aceite de pescado. Por otra parte, existe la posibilidad de utilizar en las operaciones acuícolas fuentes alternativas a los alimentos derivados de la harina y el aceite de pescado o complementos para mejorar la eficiencia de los mismos. Los ingredientes alternativos para producir alimentos para peces podrían incluir sustitutos de origen vegetal, como por ejemplo soja para la proteína a granel o girasol, trigo y otros cultivos. Con el tiempo se espera poder optimizar aún más el uso de estos ingredientes y encontrar sustitutos semisintéticos que permitan alcanzar la meta de una tasa FIFO menor a 1:1, y de esta forma producir pescado a un costo ambiental y económico menor, sin ejercer mayor presión sobre los recursos pesqueros.

5.2.4 Erosión de suelo y sedimentación

La excavación y movimiento de tierras realizados durante la fase de construcción de ciertos proyectos acuícolas pueden provocar la erosión del suelo y la subsiguiente sedimentación de las masas de agua más cercanas, lo que puede contribuir a la eutrofización y la degradación de la calidad del agua superficial y subterránea. Sumado a lo establecido en el apartado 5.2.1, las guías de buenas

prácticas en acuicultura recomiendan ciertas estrategias de manejo para evitar y/o reducir la erosión del suelo y posible contaminación de los cuerpos de agua:

- En caso de realizar estanques excavados en tierra, estabilizar terraplenes para evitar la erosión.
- Reducir la excavación y modificación de suelos que hayan sido utilizados previamente con propósitos agrícolas o industriales, durante la construcción. En estos casos se recomienda realizar un estudio de caracterización de suelos para determinar si presentan algún tipo de contaminación química.
- Llevar a cabo las obras de construcción durante la estación seca o en época de baja probabilidad de lluvias, con la finalidad de reducir la escorrentía de sedimentos que pueda contaminar las aguas adyacentes.
- Instalar barreras temporales de control de los sedimentos durante la fase de construcción para ralentizar y captar los sedimentos en suspensión.
- Impermeabilizar suelos y estanques excavados.
- Hacer una correcta gestión de productos químicos e hidrocarburos necesarios para la maquinaria de construcción, así como también evitar y reducir su movimiento.

5.2.5 Vertidos de aguas residuales

Los efluentes generados por los sistemas acuícolas suelen contener una elevada carga orgánica de nutrientes y de sólidos en suspensión, y también pueden contener residuos químicos, incluidos suplementos y antibióticos presentes en los alimentos. Entre sus efectos está la contaminación de las aguas subterráneas y

superficiales debido al vertido de efluentes o a las filtraciones provenientes de los procesos de producción y/o de tanques de almacenamiento.

Por lo general, las elevadas concentraciones de nutrientes son consecuencia de los intentos por elevar artificialmente el nivel de producción incrementando el suministro de alimentos a las especies cultivadas. Esto se puede lograr aumentando la disponibilidad de nutrientes de forma directa por medio de alimentos complementarios, o bien indirectamente fertilizando con abono los estanques, cuyo resultado es un aumento de la productividad primaria. Los ecosistemas de los estanques tienen una capacidad limitada para reciclar materia orgánica y nutrientes, la cual se ve mermada al incrementar la tasa de siembra, provocando la acumulación de materia orgánica, residuos nitrogenados y fósforo tanto en la masa de agua como en el fondo del estanque o jaula. Si no se emplean sistemas de recirculación y tratamiento de agua, estos efluentes son vertidos finalmente a cuerpos de agua superficial, aumentando su carga orgánica y causando eutrofización. Por otra parte, los residuos químicos pueden incluir restos de medicamentos veterinarios y sustancias tóxicas como el formaldehído (cancerígeno comprobado) empleados para tratar los parásitos de los peces y el crecimiento fúngico en sus huevos.

Para evitar los efectos negativos derivados del vertido de aguas residuales pueden implementarse diversas medidas en los sistemas de producción para reducir el volumen de contaminación presente en los efluentes, impedir la entrada de efluentes residuales en las masas de agua circundantes y tratar los efluentes antes de su vertido en las aguas receptoras para reducir los niveles de contaminación. Desde este punto de vista, siempre será mejor instalar sistemas RAS que permiten

hacer un uso más eficiente del agua y reducir drásticamente la producción de efluentes líquidos.

En lo que respecta a la alimentación de los peces y posterior cosecha, se recomienda adoptar las siguientes medidas para reducir su impacto en el ambiente:

- Utilizar alimentos balanceados de alta calidad nutricional, cuyos pellets contengan una mínima cantidad de “finos” o polvo de alimento, ya que los finos no se consumen y aumentan la carga de nutrientes en el agua.
- Ajustar el tamaño del pellet al estadio del ciclo de vida de la especie (es decir, los alevines o juveniles deberán alimentarse con pellet de menor tamaño para reducir la fracción sin consumir).
- Supervisar periódicamente la ingesta de alimentos para determinar su consumo efectivo y ajustar en consonancia las tasas de alimentación.
- Siempre que sea factible, utilizar pellet flotante o extrusionado, dado que permite llevar a cabo la observación durante los períodos de alimentación.
- Almacenar los alimentos en instalaciones frescas y secas preferentemente durante un máximo de 30 días para evitar la reducción del contenido en vitaminas. No deberán emplearse nunca los alimentos en mal estado, dado que podrían causar enfermedades.
- Repartir los alimentos de forma homogénea en el sistema de cultivo para garantizar su acceso al mayor número posible de individuos.
- Distribuir las comidas a lo largo del día, especialmente cuando los individuos sean jóvenes para facilitar un mejor acceso a los alimentos, mejores tasas de conversión de alimentos y menos residuos.

- Interrumpir el suministro de alimentos a intervalos adecuados antes de la cosecha para eliminar la presencia de alimentos y/o materia fecal en las entrañas del animal.
- Durante la cosecha, contener y desinfectar el agua y los efluentes con sangre de los tanques de cosecha para reducir el riesgo de propagación de enfermedades y contener la materia procedente de los efluentes.
- En el caso de estanques excavados, utilizar técnicas de drenaje parcial para vaciar los estanques una vez finalizada la cosecha. El último 10–15 % del agua de estanque contiene las mayores cantidades de nutrientes disueltos, sólidos en suspensión y materia orgánica. Se debe conservar el remanente de agua en el estanque durante unos días antes de su vertido o transferirlo a una planta de tratamiento.

Si el operador acuícola hace uso de fertilizantes y químicos especiales, se recomienda:

- En primer lugar, diseñar un plan de suministro en donde se especifique el ritmo y método de aplicación de los fertilizantes para maximizar su utilización e impedir una aplicación excesiva que pueda resultar contraproducente para la producción y el ambiente.
- Aumentar la eficiencia de la aplicación y la dispersión con prácticas tales como la dilución de fertilizantes líquidos o la disolución de fertilizantes granulados antes de la aplicación.
- Evitar el uso de fertilizantes que contengan amoníaco o amonio en aguas cuyo pH sea igual o superior a 8 y así evitar la formación de amoníaco tóxico para las especies acuáticas.

- Si se construyen tanques excavados en tierra, estos deben ser diseñados con una profundidad tal que permita reducir la necesidad de controlar por medios químicos las algas acuáticas y reducir la estratificación térmica. De realizarse su fertilización, se recomienda llevarla a cabo en estanques estáticos de forma de evitar un desbordamiento que potencialmente podría contaminar cuerpos de agua y corrientes situadas aguas abajo.
- Prescindir del uso de antiincrustantes para tratar jaulas y corrales, ya que las sustancias químicamente activas empleadas en los agentes antiincrustantes son extremadamente venenosas y altamente estables en los medios acuáticos.

Como se verá en el capítulo 7, las técnicas empleadas para tratar las aguas residuales de procesos industriales en acuicultura incluyen filtros de grasa, espumadores, separadores de aceite/agua y distintos tipos de filtros mecánicos para separar los sólidos flotantes de mayor tamaño; la equalización de flujos y cargas; la sedimentación dirigida a reducir los sólidos en suspensión mediante el empleo de clarificadores o estanques de sedimentación; el tratamiento biológico, normalmente aeróbico, para reducir la materia orgánica soluble; la eliminación de nutrientes biológicos para reducir el nitrógeno y el fósforo; la cloración de los efluentes siempre que sea necesario realizar la desinfección; deshidratación y eliminación de residuos; en algunos casos, podrá realizarse el compostaje o aplicar en el terreno residuos de aguas residuales previamente tratadas y de calidad aceptable. Es posible que sean necesarios controles de ingeniería adicionales para eliminar los suplementos alimentarios residuales, antibióticos y otros químicos. presentes en el sistema de tratamiento de las aguas residuales y contener y

neutralizar los olores molestos. A simple vista, se puede reconocer que todas estas operaciones que forman parte de un proceso de reciclado y tratamiento de aguas poseen cierto nivel de complejidad y requieren de los operadores un conocimiento más acabado de las variables fisicoquímicas que intervienen en el mismo. Este nivel de complejidad puede constituir, en muchas ocasiones, una barrera de entrada a sistemas de producción intensiva más sustentables como el RAS, pero con la capacitación adecuada y el compromiso de los operadores es completamente posible sortear el obstáculo e implementar un sistema sostenible en el tiempo, con menor impacto ambiental y mayor rentabilidad.

5.2.6 Utilización de antibióticos

Los antibióticos son los principales medicamentos veterinarios empleados en la acuicultura para prevenir y tratar las enfermedades bacterianas. Estos pueden ser sintetizados, creando una amplia variedad de compuestos con diferentes niveles de acción y toxicidad. Por lo general, los antibióticos se suelen administrar vía oral a través del recubrimiento de los pellets del alimento balanceado (Fig. 19), pero también pueden ser dosificados de forma parenteral por medio de inyecciones o mediante baños largos. Usualmente son utilizados para prevenir o tratar ciertas enfermedades, aunque en algunos casos se suministran para promover el crecimiento de la especie cultivada. Si el operador acuícola comienza a utilizar antibióticos en exceso, el residuo puede alcanzar el medio acuático y terrestre, acumulándose en el lecho y las aguas, derivando en una serie de riesgos ambientales y a la salud humana entre los cuales se destaca la generación de resistencias antibióticas.



Fig. 19: Oxitetraciclina en envase de 22,8 kg (Syndel Laboratories)

El desarrollo de la resistencia a los antibióticos por parte de las bacterias patógenas puede darse cuando dichas bacterias adquieren resistencia a uno o más antibióticos a los que con anterioridad eran sensibles, anulando su eficacia para tratar enfermedades microbianas específicas en los seres humanos. Por añadidura, en caso de consumo no intencionado de antibióticos residuales en los alimentos, la cantidad ingerida no puede cuantificarse ni controlarse, dando lugar a otros problemas de salud como es el caso de la anemia aplásica (un trastorno de la sangre poco común pero grave), entrañando un riesgo serio para las personas.

El reconocimiento de los riesgos asociados al consumo de medicamentos veterinarios ha llevado a la prohibición de ciertos antibióticos en la producción acuícola y al establecimiento de límites máximos para residuos (LMR) para aquellos cuyo riesgo se conoce. En el Anexo II, se listan los antibióticos aprobados y más comúnmente utilizados en acuicultura, así como sus características principales.

En la actividad acuícola, los antibióticos son generalmente vistos como un mal necesario para asegurar la seguridad e inocuidad de los alimentos. La problemática

asociada a ellos surge cuando se utilizan en exceso y terminan generando lo que se intentó evitar desde un principio con su aplicación, un impacto negativo en la salud animal y de los consumidores. Para limitar el uso de antibióticos pueden adoptarse las siguientes medidas:

- Siempre que sea posible debe optarse por el suministro a través de vacunas, ya que su introducción por medio del alimento balanceado propicia la acumulación de antibióticos debido a los pellets no consumidos, constituyendo una forma ineficiente de distribuir los medicamentos. Las inyecciones evitan este dilema al proveer el fármaco de forma directa y precisa sobre los animales que lo requieran.
- Las instalaciones acuícolas deberán permanecer en barbecho durante un período todos los años como parte de la estrategia de manejo de patógenos en los corrales. El período mínimo de barbecho debe ser de cuatro semanas tanto si se opera de forma continua o discontinua (batch). Este periodo puede ser considerado como una parada de planta que sirve no sólo para para el control de organismos patógenos, sino también para la limpieza, la sanitización de equipos y la realización del mantenimiento preventivo de las instalaciones.
- Las plantas dedicadas a la producción acuícola deben emplear servicios veterinarios con frecuencia para evaluar el estado de salud de la población de peces y la competencia y capacitación de los operadores. Bajo la supervisión de veterinarios especializados en el tema será posible hacer un uso más responsable y medido de los antibióticos, evitando incurrir en gastos extras por ineficiencias y reduciendo riesgos a la producción.

- Desarrollar un plan de salud veterinaria que incluya un resumen de las principales enfermedades presentes o previsiblemente presentes, así como también estrategias para su prevención y tratamientos a administrar. A su vez, debería incluir protocolos de vacunación recomendados, controles parasitarios recomendados y medicamentos recomendados para alimentos o para el agua.

En caso de recomendarse el uso de antibióticos, estos deben administrarse cumpliendo estrictamente con las instrucciones del fabricante para garantizar un uso responsable de los mismos. Aquellos antibióticos autorizados que se adquieren y aplican con receta, deben contar con la supervisión de un profesional cualificado. También se recomienda la elaboración de un plan de contingencia que describa como deben aplicarse los antibióticos una vez identificado un brote y que cuente con medidas a implementar ante posibles vertidos no intencionales y no controlados de antibióticos en los alrededores. Con respecto a su almacenamiento y guardado, los antibióticos deben ser almacenados en su envase original y en un lugar específico que pueda cerrarse, esté claramente identificado por medio de señales y sea de acceso limitado al personal autorizado.

En el plano local, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, como autoridad de aplicación, participa junto al Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) en los estudios correspondientes a la determinación de presencia o ausencia de enfermedades y en el reconocimiento de zonas libres y/o de baja prevalencia de las mismas y su sustentabilidad en el tiempo. Para ello, en la actualidad se busca poner en marcha programas de vigilancia epidemiológica, desarrollándolos con la colaboración de las provincias y

otras entidades involucradas. Por otra parte, el SENASA, está trabajando en el marco del programa de enfermedades de los animales acuáticos y de la reciente Ley Nacional 27.231, en el desarrollo de una batería de medidas referidas a la prevención y control de contingencias y de monitoreo de las especies explotadas, requeridas para el mantenimiento de una actividad sustentable en todas las cuencas acuícolas del territorio nacional. Sumado a ello, el SENASA propone a los productores acuícolas una serie de recomendaciones respecto al uso adecuado de antibióticos. Entre ellas vale la pena destacar las siguientes:

- Administrar antibióticos a los animales únicamente bajo supervisión veterinaria.
- No utilizar antibióticos para promover el crecimiento ni para prevenir enfermedades (no de manera preventiva).
- Vacunar a los animales para reducir la necesidad de antibióticos y utilizar alternativas a estos siempre que sea posible.
- Fomentar la seguridad biológica en los centros productivos para prevenir las infecciones mediante la mejora de la higiene y el bienestar de los animales.

Si se siguen las recomendaciones expuestas anteriormente, se puede reducir considerablemente el impacto negativo de los antibióticos en las personas mientras se asegura la salud animal y se cumplen con los más altos estándares de seguridad e inocuidad alimenticia.

5.2.7 Utilización de energía

La producción de peces por medio de técnicas acuícolas requiere como casi cualquier otra actividad productiva de cantidades significativas de energía eléctrica y combustibles fósiles, ya sea en forma de gas natural para calefacción o combustible para vehículos motorizados. El nivel de consumo energético a su vez irá acompañado del grado de tecnificación de la planta, es decir, en la medida en que la instalación acuícola presente mayor número de unidades operativas con mayor sofisticación tecnológica, el consumo de energía crecerá. El esquema básico de cualquier emprendimiento acuícola requiere de al menos cierta cantidad de bombas para la transferencia de agua y efluentes líquidos, iluminación artificial y vehículos para el transporte de equipos y materiales. A mayor grado de complejidad, el sistema podrá exigir la instalación de filtros, aireadores y/o intercambiadores de calor, todos ellos equipos que aportan al consumo global de energía de la planta y cuyo resultado se verá reflejado en la rentabilidad del proyecto.

Para conseguir un proyecto acuícola sustentable es fundamental optimizar el uso de energía y diseñar correctamente desde el inicio el tipo de sistema acuícola que se va a implementar. Adicionalmente, se deben tener en claro no solo aspectos tales como geografía y clima del lugar, factores cruciales pero no determinantes para la elección de la especie a cultivar, sino también cuestiones relacionadas al mercado y a la viabilidad económica del proyecto. La cercanía al mercado consumidor y la capacidad operativa de planta resultan tan importantes como la elección de la especie a cultivar y comercializar posteriormente.

Páginas atrás en el apartado 5.1.4, se mencionó que los sistemas de cultivo extensivos suelen ser menos dependientes del consumo de energía ya que no

requieren de equipos extras para su operación. Sin embargo, la clave se encuentra en el análisis de los indicadores de eficiencia energética, como, por ejemplo, la relación que hay entre masa de pescado producido sobre energía consumida por el sistema en un determinado periodo de tiempo (P/E). Un sistema extensivo bien gestionado puede lograr elevadas tasas de P/E, aunque, por la naturaleza del sistema, corre el riesgo de generar otros impactos al ambiente y de propiciar la propagación de enfermedades entre los organismos cultivados debido a la sobrepoblación de estos en el sistema. Los sistemas intensivos con recirculación de agua evitan o minimizan este problema, logrando de igual manera tasas elevadas de P/E, que por medio del mejoramiento tecnológico pueden incrementarse notablemente. Es fácilmente deducible, entonces, que la clave se encuentra en la eficiencia productiva y energética del sistema acuícola, y que para ello se deben seguir ciertas recomendaciones, algunas de las cuales se nombrarán a continuación:

- Priorizar equipos altamente eficientes, con bajo gasto energético. Colocar los equipos estratégicamente en el sistema de forma de minimizar las pérdidas y optimizar los consumos eléctricos.
- Elegir preferentemente bombas de alto caudal y baja potencia (a mayor potencia mayor gasto energético) con grado de eficiencia IE2 o mayor. Además, las bombas de mayor potencia requieren mantenimiento asiduo y son más vulnerables a los cambios de tensión lo que puede derivar en su desgaste o rotura temprana. No obstante, si se instalan este tipo de bombas deben evitarse las curvas y accesorios en exceso y colocar cañerías cuyo diámetro no supere las 4", de forma de disminuir la caída de presión y

permitir el paso de un flujo laminar continuo. Para ello, se recomiendan bombas de 1 HP como la señalada en la Fig. 20.



Fig. 20: Bomba centrífuga de alto caudal (Pedrollo)

- En caso de requerir aireadores, como en la mayoría de los sistemas cerrados de recirculación en acuicultura o cuando la densidad de cultivo sea muy elevada, se debe optar preferentemente por una disposición en serie de varios aireadores o difusores pequeños de membrana de burbuja fina (Fig. 21) luego de la/s etapa/s de filtración, evitando concentrar toda la operación en el tanque de cultivo para no generar la resuspension de sólidos y tener un efecto contraproducente sobre la producción. El diseño del sistema de aireación es crítico debido a que no solo afecta la calidad del agua y en consecuencia a la calidad de vida de los peces, sino también a los consumos de energía y la eficiencia global del proceso. Con un dimensionamiento adecuado de dicho sistema se debe lograr mantener la concentración de oxígeno disuelto constantemente en niveles adecuados

para la vida acuática sin incurrir en sobreconsumos de energía por oxigenación excesiva.



Fig. 21: Difusores de burbuja fina (Repicky)

- Dentro de lo posible, cultivar especies adaptadas al clima local para reducir costos de inversión derivados de la adquisición de estructuras especiales y/o sistemas de calefacción o refrigeración, necesarias para la supervivencia de la especie cultivada. De esta manera, también se logrará una reducción significativa de los costos de operación relacionados a consumos energéticos y de los costos de mantenimiento.
- Si el punto anterior no es posible, priorizar la construcción de invernaderos a sistemas de intercambio de calor. Los invernaderos ayudan a extender la estación de crecimiento de los peces (y plantas, en un sistema acuapónico) especialmente en regiones de climas fríos (Fig. 22).

Los invernaderos constituyen una opción útil y relativamente económica para estabilizar térmicamente las condiciones internas del sistema. El nylon utilizado como cobertor permite el ingreso de luz solar y favorece la retención de calor

dentro del invernadero, generando una barrera con el clima exterior y protegiendo al sistema acuícola de lluvias, vientos fuertes y otros factores climáticos negativos para la producción, así como también alimañas e insectos que pudieran afectar a las especies en cultivo. Haciendo uso de invernaderos, es posible mejorar considerablemente la eficiencia de los equipos de intercambio de calor como calderas o calentadores, economizando energía y reduciendo costos asociados. Aun así, en época estival suele requerirse la operación de un sistema de ventilación adicional para disipar el exceso de calor causado por el aumento de la temperatura ambiental. Otra forma de incidir en la temperatura del sistema es a través de la coloración externa de los tanques de producción. Estos pueden pintarse con colores claros, si lo que se desea es evitar el calentamiento, o con colores oscuros si el efecto deseado es el de retener más energía solar y elevar la temperatura del agua.

En los sistemas acuapónicos, que serán analizados posteriormente, los invernaderos presentan un beneficio adicional al propiciar el enriquecimiento de dióxido de carbono en su interior, favoreciendo el crecimiento de las plantas y, por lo tanto, mejorando sensiblemente el rendimiento de la zona hidropónica (parte de la estructura acuícola donde se desarrollan las plantas). Así, con una pequeña inversión extra se puede optimizar el rendimiento de esta clase de sistemas.



Fig. 22: Invernadero semicircular con estructura de madera (Portal Frutihortícola)

5.3 Medidas generales

Como se ha podido observar, existen una serie de condiciones que indican la falta de sustentabilidad en los procesos que intervienen en la producción de peces por acuicultura. Todos estos efectos giran en torno a cinco aspectos fundamentales relacionados a la cría intensiva: energía, alimentos, medicamentos, residuos y sociedad; los cuales deben estar perfectamente gestionados a fin de asegurar la sustentabilidad de la actividad. Para determinar si en principio existe una falencia relacionada a alguno de estos factores, se presentan una serie de señales que preanuncian la falta de sustentabilidad en el emprendimiento acuícola. Entre ellas se encuentran:

- Ausencia de registros y controles (de producción, contables, medicamentos, residuos generados, etc.).
- Ausencia de monitoreo y controles periódicos de calidad del agua.

- Uso continuo de medicamentos antibióticos, biorremediadores, probióticos u otros productos para luchar contra las enfermedades de los animales. Dependencia de dichos productos bioquímicos.
- Uso de medicamentos antibióticos sin supervisión de un profesional veterinario.
- No aplicación de normas de gestión de la calidad, medio ambiente, seguridad y salud ocupacional.
- Falta de percepción o interés de los administradores sobre la importancia de la aplicación de buenas prácticas de producción.
- Falta de higiene en las instalaciones.
- Mortalidades crónicas a lo largo del cultivo.
- Concentración de peces superior a la capacidad de carga del sistema.
- Falta de aceptación por parte de la población local.
- Interferencia con otras actividades realizadas por la población local (Emprendimientos económicos, actividades de esparcimiento, turismo, etc.).
- Condiciones precarias de trabajo e insatisfacción de los empleados frente a la empresa. Rotación frecuente de empleados.

Todas estas señales son síntomas de una mala gestión ambiental, cuyo resultado final puede verse reflejado en el no cumplimiento de requisitos legales, tanto en cuestiones ambientales como laborales, y por lo tanto en un incremento del impacto ambiental y social del proyecto. Para evitar este escenario, es necesario seguir y cumplir ciertas reglas básicas que permitan lograr una mayor armonía

entre las variables ambientales y las demás partes interesadas como empleados, entes gubernamentales, socios, mercados, etc.

A lo largo de este capítulo se enumeraron recomendaciones, buenas prácticas y criterios a adoptar para mitigar los impactos ambientales derivados de la actividad. Esto se obtiene, por un lado, a través de la optimización de los consumos energéticos por medio del uso de tecnologías eficientes y el diseño de estrategias de producción que prioricen el ahorro de energía y el máximo rendimiento productivo; favoreciendo el cultivo de especies autóctonas y bien adaptadas al clima regional. A su vez, es necesario mantener un control estricto del uso de cualquier medicamento veterinario y/o producto químico que se manipule y, en lo posible, reducir sus consumos al mínimo. Para ello resulta fundamental establecer pautas de higiene en planta y hacer cumplir todos los controles y requisitos legales determinados por la autoridad de aplicación correspondiente, así como también alentar políticas de higiene y seguridad en el trabajo por medio de la implementación de normas específicas que permitan estandarizar los procesos y tener un mayor control sobre las variables que intervienen en la calidad de producto final, lo que se traduce en un compromiso genuino del operador para con la sociedad y el medio ambiente. Asimismo, se deben aplicar los mismos criterios a la selección y el consumo de alimentos, priorizando los de alta calidad nutricional y fácil digestibilidad producidos por proveedores reconocidos en el mercado y, en lo posible, certificados por el sostenimiento de altos estándares en materia de seguridad e inocuidad alimentaria. Con el objetivo de conseguir una mayor aceptación y fortalecer los lazos con la sociedad, se debe fomentar la comunicación institucional de las tareas llevadas a cabo por la institución, así como controles y

otros aspectos clave del proyecto acuícola mediante capacitaciones y programas de enseñanza sobre acuicultura y medio ambiente dirigidas a la comunidad. Sumado a ello, es indispensable proporcionar condiciones de trabajo seguras, contar con personal idóneo para la realización de las tareas de planta y respetar los acuerdos laborales preestablecidos.

En conclusión, es totalmente factible llevar adelante un emprendimiento acuícola sustentable por medio de la aplicación de estándares de producción y haciendo uso de todas las herramientas y know-how disponible en el mercado. Para ello el acuicultor debe ser consciente de los impactos potenciales de sus actividades y adoptar una actitud responsable en cuanto a las medidas a tomar para mitigarlos o eliminarlos.

5.4 Caso de estudio: La salmonicultura en Argentina

Este punto está destinado a analizar de forma general el caso del posible desarrollo de la salmonicultura en nuestro país, posibilidad que cobró gran relevancia durante el año 2018 y luego fue lentamente desestimado por diferentes autoridades. Ciertos actores locales e internacionales están interesados en comenzar a explotar la producción intensiva de salmón en las costas del sur argentino, con lo cual resulta relevante dedicar algunas páginas de este estudio a indagar en este nuevo proyecto para instalar salmoneras en el país, examinar cómo se desarrolla, cuál es la experiencia chilena en este terreno y considerar cuáles son los posibles impactos ambientales de esta actividad específica y cómo prevenirlos o mitigarlos.

El nuevo proyecto de explotación salmonicultora inició a principios del año 2018 cuando el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación suscribió con Noruega (primer productor mundial de salmón) un convenio de cooperación para estudiar la factibilidad técnica y económica de desarrollar la acuicultura en el país. Para ello, se propuso cultivar salmón por medio de la técnica de jaulas oceánicas en dos zonas costeras al sur del país: el canal de Beagle, en la provincia de Tierra del Fuego y el litoral santacruceño del mar argentino en la localidad de Puerto San Julián (Fig. 23).



Fig 23: Posible ubicación de salmoneras en territorio argentino

El proyecto prevé, inicialmente, desarrollar una pesquería de entre 20 a 50 mil t de salmón para exportación con dos o cuatro concesiones en el Canal del Beagle, con un retorno aproximado de USD 200 millones, número no despreciable para un país

con urgencias para diversificar su matriz exportadora e ingresar mayor cantidad de divisas. Además, teniendo en cuenta estos valores, este emprendimiento incrementaría la producción acuícola actual de Argentina hasta un 1000 %.

Desde su concepción, el acuerdo generó polémica y rechazo por parte de diversos sectores de la población y, especialmente, de grupos ambientalistas, quienes cuestionan que el salmón es una especie exótica y que su producción es fuente de contaminación y daños ambientales. Dentro de los impactos ambientales característicos de la salmonicultura se encuentran la eutrofización de los ecosistemas acuáticos debido a la producción de heces en sistemas sobrepoblados de peces y el alimento sin consumir, así como también el peligro de escape de individuos en el ecosistema local, hecho que ha sucedido en más de una ocasión en el país vecino. A esto se le suman varios de los temas tratados anteriormente en este trabajo como el uso de harinas de pescado, antibióticos y colorantes, los cuales ayudan a aumentar la controversia con respecto a esta industria.

En Chile, donde el cultivo de salmones representa el segundo producto de exportación después del cobre, los activistas ambientales aseguran que el exceso de concesiones para la salmonicultura ha saturado el ecosistema marino, dando como resultado la proliferación de algas tóxicas emparentadas con la marea roja (Fig. 24).

Cabe destacar que muchos de estos grupos no se oponen estrictamente a la actividad, ya que es considerada fuente de trabajo genuino, sino al exceso de concesiones que el gobierno proporciona a la industria salmonicultora para instalarse en ciertas localidades, superando la capacidad de carga del ecosistema y acrecentando los impactos negativos derivados de la salmonicultura intensiva.



Fig. 24: Marea roja en Isla Grande de Chiloé (Chile), febrero de 2017

Cada jaula como la de la Fig. 25 puede contener entre 30 y 50 mil ejemplares de salmón, cuyas heces se depositan en el lecho marino o se desintegran a través de la descomposición de bacterias y de otros microorganismos. Lo mismo sucede con el alimento sin consumir, que termina en el fondo marino generando exceso de nutrientes y baja cantidad de oxígeno que alteran el agua y llevan al florecimiento de algas tóxicas. Para evitar esto, los expertos recomiendan que luego de 21 meses de cría, que es lo que tarda en crecer el salmón hasta llegar a un peso comercial de 5 kg, debe realizarse un reposo o barbecho de tres meses para clarificar las aguas, rehabilitar los fondos marinos y evitar cualquier impacto en la fauna. Por otra parte, en la etapa inicial del proyecto debe evaluarse la capacidad de carga de la zona para evitar excesos de cargas una vez iniciada la etapa operativa del criadero.

Al igual que la trucha, que es un salmónido y fue introducida en el Argentina en los primeros años del siglo XX, el salmón es una especie exótica que depreda la biodiversidad nativa de peces. Como se mencionó en los capítulos 3 y 5 de este trabajo, las especies exóticas invasoras tienen efectos devastadores para la biota,

ya que provocan el declive e incluso la extinción de especies autóctonas y afectan negativamente los ecosistemas. En este caso particular, algunos especialistas afirman que organismos invertebrados únicos de la región, como corales de agua fría y esponjas, se verían afectados por la introducción de esta especie en las costas argentinas. El escape de salmones ha sido documentado en diversas ocasiones, habiendo ocurrido un caso extremadamente grave en julio de 2018 en la región de Los Lagos en Chile cuando cerca de 700.000 ejemplares huyeron de las jaulas de contención pertenecientes a la firma noruega Marine Harvest (Todo Noticias, 2018). Los efectos ambientales de semejante hecho todavía están por verse, pero los expertos aseguran que el impacto generado sobre las especies autóctonas será duradero y podría incluso modificar su comportamiento normal.



Fig 25: Cultivo de salmones en jaulas oceánicas (Rossi, 2018)

También se podría pensar que el desarrollo de la salmonicultura en el país entraría en conflicto con el “Convenio de Diversidad Biológica”, un acuerdo internacional firmado por Argentina que establece en el art. 8, inciso h, que:

“Cada parte contratante, en la medida de lo posible, impedirá que se introduzcan, controlará o erradicará especies exóticas que amenacen a ecosistemas, hábitats o especies”

No obstante, el acuerdo no prohíbe la introducción de especies exóticas y, además, la reciente ley nacional de desarrollo sustentable en acuicultura manifiesta en el art. 14 la posibilidad de introducir especies exóticas con fines comerciales y de explotación acuícola previa autorización por autoridades competentes, siendo el productor responsable de asegurar su contención.

En caso de prosperar, los nuevos desarrollos productivos deben tomar los recaudos necesarios para evitar el escape de salmones que afecten negativamente a la diversidad nativa y contar con planes de contingencia en caso de tener que afrontar dicha situación.

Otro punto que causa gran controversia tanto en la población como en la comunidad científica se centra en el uso de antibióticos. Como se mencionó en el capítulo 5.4 de este trabajo, el uso intensivo de antibióticos en acuicultura promueve el desarrollo de resistencias a los mismos por parte de bacterias patógenas y puede exponer a los consumidores a niveles elevados de concentración de antibióticos que se usan en la producción.

La utilización de antibióticos en salmonicultura, su prevalencia en la carne del animal y sus efectos sobre la salud humana presentan opiniones diversas, muchas de las cuales estas basadas en escasa y/o mala información. Para citar un ejemplo, en marzo de 2017 la oficina de prensa de la Universidad Argentina de la Empresa (UADE) emitió un comunicado titulado *“Un estudio demuestra que el 66% de los*

salmones rosados que se consumen tienen residuos de antibióticos". Este comunicado se basaba en un trabajo de investigación denominado "*Presencia de antibióticos en muestras de salmón de pescaderías de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires*" llevado a cabo por el "Centro de Investigación y Desarrollo de Alimentos Saludables del Instituto de Tecnología" (INTEC) de la Fundación UADE, en el cual se señalaba que después de analizar 103 filetes de salmón de 38 comercios de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, procedentes de Chile, se habían detectado residuos de antibióticos superiores al límite permitido por el CODEX Alimentarius Internacional y que el 66% de los casos presentaban restos de "flumequina" y "clorhidrato de oxitetraciclina", antibióticos muy utilizados en los criaderos de salmón para contrarrestar las enfermedades que provocan la muerte de los peces. Días después, luego del revuelo de la opinión pública y el alboroto periodístico, las noticias llegaron a las oficinas del "Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura" de Chile, cuyas autoridades tomaron contacto con la Dirección Económica de Cancillería y con la embajada chilena en Buenos Aires para recabar más antecedentes sobre el estudio y saber si existía algún tipo de validación o antecedente técnico por parte del SENASA. Luego de este suceso, el SENASA convocó a los responsables del estudio para obtener precisiones suficientes para elaborar un informe oficial. Finalmente, el organismo nacional determinó que el método de *screening* empleado por el equipo del INTEC no permitía identificar y cuantificar adecuadamente el contenido de antibióticos en las muestras y aseguró que los salmones procedentes de Chile, analizados por especialistas del SENASA, arrojaron resultados aptos para el consumo.

Más allá de este episodio, la realidad es que en la producción de salmones en Chile se utilizan grandes cantidades de antibióticos con fines terapéuticos. Se estima que, durante el año 2016, Chile utilizó aproximadamente 382 t de antimicrobianos para la producción salmonicultora, 700 veces más que en Noruega, país que empleó 523 kg en el mismo periodo (Garcés, 2017).

Hoy en día, los antibióticos se presentan como un mal necesario para el desarrollo intensivo de esta actividad. Si Argentina pretende instalar la salmonicultura, debe trabajar para darle un marco sustentable y copiar el ejemplo noruego, en donde se hace un uso responsable de los antibióticos. Conviene destacar, nuevamente, que no sólo la industria acuícola hace uso de estos compuestos, sino que tanto la industria avícola como porcina insumen cantidades importantes de antibióticos y, sin embargo, no parecería encontrarse la misma resistencia u oposición a su desarrollo.

Cabe aclarar que los colorantes se utilizan para que la carne del salmón sea rosada, ya que al producirlo de manera industrial la carne es de color blanco. En realidad, el salmón silvestre se alimenta de camarones y cangrejos y eso es lo que le da su color rosado característico, el cual es imposible de conseguir al alimentarlos a base de alimento balanceado.

A principios del año 2019, el gobierno de la provincia de Tierra del Fuego desestimó el proyecto de producción mediante el método convencional por jaulas en el mar, argumentando a que este se contrapone al modelo de desarrollo sustentable del gobierno provincial. Sin embargo, el proyecto no ha quedado realmente descartado y se continúan evaluando otras posibilidades. Sea cual fuere el camino que tome la producción de salmón en Argentina, se debe aprender

especialmente de la experiencia y *know-how* noruego e intentar imitar su modelo de producción con el objetivo de evitar futuros impactos ambientales negativos de gran magnitud. Desde el punto de vista del autor, se recomienda hacer hincapié en tomar las medidas y precauciones necesarias para evitar el escape de individuos (algunas mencionadas en el apartado 5.2.2 del presente trabajo), hacer uso responsable e inteligente de los antibióticos, acatar los tiempos de carencia y respetar las demás actividades que se realizan en la zona de producción.

6. Normativa

A pesar de que la legislación ambiental tanto internacional como nacional es relativamente nueva (buena parte de ella comenzó recién a formularse en la segunda parte de siglo XX), esta se ha ido desarrollando y ganando mayor preponderancia en la medida en que la problemática ambiental se fue haciendo cada vez más evidente y sus impactos empezaron a afectar a la población y los recursos e intereses económicos de los estados. Es por este motivo que el crecimiento de la actividad acuícola generó en los últimos años la aparición de normativa que encuadre a la misma en un marco de sustentabilidad y buenas prácticas de manufactura. Este capítulo tiene por propósito abordar la temática normativa en relación a la acuicultura en Argentina, resaltando aquellos aspectos que se consideran relevantes, e introducir la postura de las principales provincias productoras en relación a la legislación acuícola. Asimismo, se presentarán los casos de la normativa chilena y brasileña, y se realizará una comparación entre los puntos más importantes, sus principales diferencias con la normativa nacional y sus puntos en común.

Si el lector lo desea, en el Anexo III podrá hallar una breve introducción histórica del desarrollo legal ambiental argentino, a fin de comprender de mejor forma la complejidad de la cuestión ambiental con respecto a la legislación nacional.

6.1 Ley Nacional 27.231

En diciembre de 2015 el Congreso de la Nación aprobó la “Ley Nacional 27.231: Desarrollo Sustentable del Sector Acuícola”, que proporciona a la actividad un marco normativo para su regulación, control, fiscalización y fomento.

Posteriormente, en septiembre de 2017, la ley fue reglamentada por medio del decreto 692/17, dando punto final a un proceso jurídico largamente esperado por muchos productores acuícolas.

La ley no solo brinda a la actividad de un marco normativo fundamental para el desarrollo de la acuicultura, sino también establece condiciones para asegurar el uso sustentable de los recursos naturales de acuerdo a un enfoque ecosistémico, promoviendo la investigación científica en acuicultura y el desarrollo socioeconómico y profesional del sector. Dentro de los temas tratados por la ley se destacan la creación del Fondo Nacional de Acuicultura (FONAC) para el fomento de la actividad en distintas regiones del país, los beneficios impositivos a productores, la eliminación de aranceles a la importación de maquinaria no producida a nivel nacional y la sanción de prácticas nocivas para el ambiente en general. A grandes rasgos es posible clasificar a la ley en función de los siguientes puntos clave:

- Objetivos para el desarrollo sustentable y acuicultura sustentable.
- Registro nacional de productores.
- Estímulos a la producción y fomento del sector acuícola.
- Sanidad, inocuidad y buenas prácticas.

6.1.1 Objetivos de la Ley Nacional 27.231

La Ley Nacional 27.231 tiene como objetivos generales regular, fomentar y administrar, disponiendo las normativas generales necesarias para su ordenamiento, el desarrollo de la actividad acuícola dentro del territorio de la República Argentina, en concordancia con las atribuciones del gobierno nacional,

de los gobiernos provinciales, municipales y/o de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Por otra parte, los objetivos particulares sientan las bases para la promoción y el desarrollo de la actividad en un marco de mayor seguridad jurídica y regulación. Los mismos se listan a continuación:

a) Propiciar el desarrollo integral y sustentable de la actividad productiva de la acuicultura, orientándola como fuente de alimentación, empleo y rentabilidad, garantizando el uso sustentable de los recursos (suelo, agua, organismos acuáticos); así como la optimización de los beneficios económicos a obtener en condiciones de armonía con la preservación del medio ambiente y de la biodiversidad;

b) Proponer el ordenamiento territorial, el fomento, el control y la fiscalización de la actividad;

c) Proceder a la preservación o la recuperación de los recursos acuáticos del territorio nacional, por medio de la acuicultura de repoblamiento, en caso de necesidad y cuando así lo indicaren estudios previos;

d) Promover el desarrollo socioeconómico, cultural y profesional de los actores del sector acuícola, desarrollando y/o mejorando principalmente, las economías regionales mediante programas específicos;

e) Establecer bases y mecanismos de coordinación entre las autoridades nacionales, provinciales, municipales y/o de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, para el mejor cumplimiento de los objetivos de la presente ley;

f) Apoyar y facilitar la investigación científica, especialmente aquella dirigida a los aspectos de desarrollo tecnológico en materia de acuicultura;

g) Establecer convenios con las autoridades provinciales para la implantación de un Sistema Nacional de Estadística en Acuicultura (SINEA), así como convenios de reciprocidad para la continuidad y ampliación del Único Registro Nacional de Establecimientos de Acuicultura (RENACUA) existente en el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca;

h) Promover la capacitación a todos los niveles: productores, profesionales, técnicos, pescadores artesanales, operarios y estudiantes;

i) Establecer las bases de control de la producción en materia de acuicultura, coordinadamente con las autoridades competentes a nivel provincial;

j) Apoyar el agregado de valor al producto cosechado, impulsar su comercialización, calidad, trazabilidad, etiquetado e inocuidad; así como toda otra certificación que sirva a su promoción y competitividad en el mercado nacional e internacional, junto al aumento de volumen obtenido en todas sus variantes, en coordinación con las dependencias competentes.

Además de los objetivos particulares que propone la ley, también hay ciertos puntos interesantes a destacar como, por ejemplo, en los capítulos III y IV la presente ley hace referencia a los métodos de producción sustentables y a la acuicultura sustentable en general. El art. 6 clasifica los sistemas de producción acuícola y menciona que estos pueden ser planificados como extensivos, semi-intensivos e intensivos, según la densidad utilizada en cultivo y el grado de

tecnología aplicado (detallado en capítulo 4). Asimismo, los sistemas de producción pueden ser ejecutados a “cielo abierto” o bien, “en encierro”. El primero dependiendo de las temperaturas en el sitio seleccionado y el segundo, con mayor inversión, en recintos específicamente preparados que cuenten o con circulación de agua y fijación de los parámetros físicos y químicos principales, o bien, con producción de focos bacterianos. Seguidamente, y en concordancia con el art. 41 y 121 de la CN, el art. 7 de la Ley Nacional 27.231 determina que corresponde a las provincias y a la Nación el aprovechamiento sustentable de sus recursos acuícolas, la conservación del medio, la restauración del mismo de ser necesario y la protección de aquellos ecosistemas en los que se realicen cultivos de peces u otros organismos acuáticos. Para estos fines, las autoridades nacionales o provinciales deben proceder a determinar la “capacidad de carga” o “capacidad de soporte” de los mismos; con el objeto de sustentar las potenciales unidades de cultivo.

Más adelante, en el art. 30, la ley introduce la temática de estudios de impacto ambiental con relación a la acuicultura. Allí establece inicialmente que la actividad de la acuicultura debe ser llevada a cabo mediante el uso de prácticas que se encuentren enmarcadas dentro de los criterios de sustentabilidad de los recursos naturales empleados en su desarrollo y dentro de los parámetros de respeto por el ambiente. Por consiguiente, la autoridad de aplicación deberá exigir, entre otros requisitos, estudios de determinación de posibles impactos ambientales cuando los proyectos presentados puedan considerarse de riesgo grave a criterio de la misma, derivados de la propia producción y podrá imponer requisitos a cumplir que

verificará periódicamente, pudiendo definir de igual manera los condicionantes de los respectivos estudios a realizar cuando lo considere conveniente.

6.1.2 Creación del RENACUA

El RENACUA tiene por objetivo inscribir de forma obligatoria a todos los actores del sector acuícola, solicitando la información relativa a las actividades que éstos desarrollen. Esta medida está dirigida principalmente a productores acuícolas, exceptuando de inscripción aquellos cultivos destinados a una acuicultura para consumo doméstico familiar, sin venta comercial alguna. Complementariamente, la ley menciona que el RENACUA estará a cargo del Ministerio de Agricultura a través de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, y posee carácter público.

6.1.3 El FONAC y beneficios para el fomento de la acuicultura

El FONAC tiene por objetivo fomentar la actividad en distintas regiones del país. Está destinado a las operaciones de la actividad acuícola que estén originadas en una diversificación agraria o en actividades con proyección de pequeña escala, Pymes, semi-industrial o industrial, en sitios considerados con aptitud para tal desarrollo dentro del territorio nacional (en ambiente marino, salobre y continental). El FONAC se integrará, principalmente, a partir de una partida del presupuesto nacional durante el término de diez años, pero también serán fuentes de aportes los aranceles provenientes de la emisión de autorizaciones para el ejercicio de la acuicultura, donaciones y aportes de organismos internacionales, provinciales y de los propios productores, multas y cualquier otro concepto legal que se provea.

En cuanto a la distribución de los fondos del FONAC, se priorizarán aquellas zonas del país que por sus cualidades y aptitudes mantengan una significativa importancia en producción acuícola, para el arraigo de las poblaciones humanas, apoyando con acciones socioeconómicas y destinándolos a aquellos proyectos de inversión que incrementen la producción y la ocupación de mano de obra especializada y no especializada.

Los aportes del FONAC podrán ser solicitados para:

- Adquisición de materiales de construcción para infraestructura.
- Adquisición de maquinarias para elaboración de alimentos.
- Adquisición de maquinaria destinada al mejoramiento de la producción y/o calidad de los productos obtenidos.
- Desarrollo de tecnologías para cultivo de especies acuáticas adecuadas a cada uno de los sistemas de producción.
- Fomento de los emprendimientos acuícolas.
- Cumplimiento de programas de control sanitario.
- Comercialización y marketing de los productos finales obtenidos.
- Agregado de valor generado por el propio productor.

Dentro de los beneficios económicos estipulados por la ley, los productores podrán solicitar 100% del monto requerido para:

- Adquisición o alquiler de maquinarias destinadas al movimiento de tierra y construcción de estanques excavados destinados al cultivo.
- Adquisición de bombas, equipos de mantenimiento y limpieza propios de la actividad acuícola.

- Construcción de “raceways”, piletas, tanques, piletas de purgado, mesas, balsas y “long-lines”, u otro sistema utilizado en producción acuícola actual o que se desarrolle en el futuro.
- Construcción de un laboratorio para reproducción y alevinaje primario o “hatchery” de cuarentena para cualquier organismo acuático de cultivo.
- Construcción de galpón de guarda de elementos.

También podrán obtener hasta un 50% del valor del alimento balanceado destinado al cultivo de la especie seleccionada que se adquiera en comercios nacionales, según el volumen de producción planificada a la que se lo destine; igualmente para adquisición de medicamentos y honorarios de asistencia sanitaria debido a prevención de patologías o patologías probadamente detectadas durante cualquier etapa del ciclo de producción de la especie bajo cultivo o bien, erogación por costos de análisis y controles de laboratorio determinados o a determinar por la autoridad sanitaria competente y otras certificaciones necesarias en función del cumplimiento de normativas nacionales y/o internacionales.

Por último, los productores serán beneficiados con hasta un 20% de la adquisición de material de animales reproductores para inicio de la actividad o de “semilla” y se les subvencionará hasta el 50% de los costos de proyectos para la obtención de certificaciones de calidad, de origen o de producción orgánica.

Todos estos beneficios económicos mencionados tendrán vigencia por el término de diez años desde la promulgación la Ley Nacional 27.231, es decir hasta septiembre de 2027.

Adicionalmente, los beneficiarios acuícolas tendrán una serie de beneficios impositivos por una duración no mayor a dos ejercicios fiscales desde su otorgamiento por la autoridad. Entre ellos se destacan: la eliminación de aranceles de importación de equipos o maquinarias incluidas en los proyectos, cuando no hubiera producción nacional y la amortización anticipada en el impuesto a las ganancias, del 100% del valor de las maquinarias adquiridas para el proyecto aprobado. De acuerdo al art. 31 de la ley nacional de acuicultura, quienes podrán acceder a este conjunto de beneficios son las personas físicas o jurídicas que desarrollen la actividad de acuicultura, con una producción máxima de 1000 t anuales.

6.2 Situación en las provincias

Previo a la aprobación de la ley 27.231, la mayoría de las provincias con potencial acuícola contaban con algún tipo de normativa que reglamentaba la actividad en su territorio, siendo las provincias patagónicas las más adelantadas en este respecto. Luego de la reglamentación de la ley nacional de acuicultura sustentable, varias provincias comenzaron un proceso de adhesión a ella con el fin de que los productores vinculados a esta práctica puedan obtener los beneficios materiales, tecnológicos y económicos que la norma establece, fortaleciendo de ese modo la actividad regional. En la Tabla 2, se presenta un resumen sobre la situación legal actual de las provincias en materia acuícola.

Actualmente, las provincias que ya se encuentran adheridas a la ley nacional de desarrollo sustentable en el sector acuícola son: Corrientes, Neuquén, Río Negro, Santa Fe y Tierra del Fuego. Todas ellas ya poseían leyes provinciales o algún tipo

de disposición legal sobre producción acuícola y/o protección de los recursos hidrobiológicos, por ejemplo, la provincia de Neuquén contaba con la ley provincial 1996 sancionada en el año 1992 y promulgada por decreto N°098/93, la cual fue reemplazada en junio de 2017 cuando la provincia adhirió a la ley nacional de desarrollo sustentable en el sector acuícola sancionando la nueva ley provincial N°3073. Esta última agrega, entre otros puntos de interés, una reglamentación sobre concesiones de agua para la producción y la presentación de proyectos piscícolas sustentables.

Por otra parte, legisladores de las provincias de Entre Ríos, Mendoza, Misiones y Santa Cruz han presentaron proyectos de ley para adherir a la ley nacional. En la última de ellas la actividad acuícola se reglamentó en el año 2004 a través de la ley provincial N°2725, pero no fue hasta el año 2007 que la Subsecretaría de Pesca y Actividades Portuarias estableció su regulación. La propuesta de adhesión surge como una forma de aprovechar los recursos de ríos, mares y lagos, generar puestos de trabajo y descomprimir al sector público. En tanto Mendoza, provincia que cuenta con emprendimientos piscícolas en diversas ciudades de su territorio y con condiciones naturales privilegiadas para su explotación, envió en octubre de 2017 un proyecto de ley de adhesión que se encuentra en la comisión de Economía. En esta línea, el caso misionero es llamativo ya que todavía no ha adherido a la ley nacional de acuicultura a pesar de ser la segunda provincia de mayor producción acuícola del país y tener experiencia en esta rama agroindustrial.

Tabla 2: Comparación de legislación acuícola entre las provincias argentinas

Provincia	Nivel de Producción	Adhiere a la Ley Nacional N° 27.231	Proceso de Adhesión	Reglamentación Actual	Nombre
Buenos Aires	Medio	NO	NO	Ley N°11.477/93 Dto. Reglamentario N°3237/95	Ley general de pesca
CABA	-	NO	NO	-	-
Catamarca	-	NO	NO	Ley N°4891/96	Pesca y acuicultura
Chaco	Alto	NO	NO	Ley N°1428-R/05	Manejo de los recursos acuícolas y pesca
Chubut	Bajo	NO	NO	Ley IX - N°102/12	Fomento de la acuicultura
Córdoba	Bajo	NO	NO	Ley N°7343/85	Ambiente y sus recursos
Corrientes	Bajo	SI	-	Ley N°6410/17	Adhesión a la ley nacional N°27.231
Entre Ríos	Bajo	NO	SI	Res. N°43/02 DPyRN	Acuicultura
Formosa	Medio	NO	NO	Ley N° 1314/00	Código Rural
Jujuy	Bajo	NO	NO	Ley N°3011/73 Dto. Reglamentario N°1003-H	Ley provincial de pesca
La Pampa	Bajo	NO	NO	-	-
La Rioja	Medio	NO	NO	Ley N°7801/04	Medio ambiente, recursos naturales y actividades agrarias
Mendoza	Bajo	NO	SI	Ley N°6169/94	Preservación del recurso Ictícola
Misiones	Alto	NO	SI	Ley XVI - N°8/10	Fauna Ictícola, pesca y acuicultura
Neuquén	Alto	SI	-	Ley N°3073/17	Adhesión a la ley nacional N°27.231
Río Negro	Medio	SI	-	Ley N°858/18	Adhesión a la ley nacional N°27.231
Salta	-	NO	NO	-	-
San Juan	-	NO	NO	Ley N°5974/89	Creación de fondo de fomento a la acuicultura
San Luis	-	NO	NO	-	-
Santa Cruz	-	NO	SI	Ley N°2725/04	Acuicultura
Santa Fe	Medio	SI	-	Ley N°13.772/18	Adhesión a la ley nacional N°27.231
Santiago del Estero	Bajo	NO	NO	-	-
Tierra del Fuego	Bajo	SI	-	Ley N°1168/17	Adhesión a la ley nacional N°27.231
Tucumán	-	NO	NO	Res. N°41/17 DFFSyS	Actividades de aprovechamiento racional de fauna silvestre y acuática

Es notable que al día de hoy todavía haya una serie de provincias con poca o nula reglamentación sobre actividades acuícolas. Entre ellas se destacan La Pampa, Salta, San Luis y Santiago del Estero, cuyas normas relacionadas a recursos ictícolas se enfocan en la conservación de la fauna, la caza y la pesca, y se remontan a los años 70. También es importante mencionar que la provincia de Buenos Aires, si bien no pertenece al grupo de grandes productores piscícolas, pero cuenta con un enorme potencial al respecto, no ha adherido a la ley nacional de desarrollo sustentable en el sector acuícola ni ha presentado ningún proyecto de ley con ese fin. De todos modos, se encuentra en vigencia la Ley General de Pesca N°11.477 reglamentada por el decreto 3237/95 que regula la acuicultura en su territorio.

6.3 Normativa internacional

Brasil y Chile poseen una industria acuícola con diferente grado de desarrollo, potencial y estructura normativa. En principio, analizando el caso brasileño es posible encontrar algunas similitudes con su homólogo argentino, ambos países podrían convertirse en una potencia mundial en acuicultura, tiene recursos naturales, disponibilidad de insumos y un mercado de consumo de pescado interno en crecimiento. Sin embargo, el fundamento sobre el cual se basa este potencial acuícola son los recursos naturales ya que Brasil cuenta con una línea costera de 8500 kilómetros, el 12% de las reservas de agua dulce del mundo y 5.5 millones de hectáreas de tierras federales (Monja, 2016). Siguiendo el análisis del caso brasileño se halla otra gran similitud con respecto al argentino: el subdesarrollo del sector acuícola.

A pesar del enorme potencial, la acuicultura en Brasil crece lentamente debido a restricciones en el uso del agua, carencia de infraestructura y una producción heterogénea y poco industrializada. En la actualidad, la producción anual por acuicultura de Brasil es de 581.000 t distribuidas entre peces, principalmente la Tilapia, camarones y otros mariscos. Además, se proyecta que dicha producción crecerá un 89% para el año 2030 (FAO, 2018).

En Chile, el panorama es totalmente diferente. Este país tiene una industria acuícola muy desarrollada, resultado de más de 30 años de crecimiento sostenido del sector y de la implementación de medidas que propiciaron la inversión en esta actividad. Hoy Chile es el octavo productor mundial de peces por acuicultura, con el salmón como producto estrella, y es el principal referente latinoamericano con una producción anual de 1.035.000 t. Para la economía chilena, las exportaciones por acuicultura representan US\$ 4500 millones anuales y 45.000 puestos de trabajo (FCH Fundación Chile, 2016), ubicando a la misma como el segundo mayor sector productivo de la nación andina.

6.3.1 Normativa acuícola en Brasil

Brasil, al igual que la Argentina, es un país federal conformado, en este caso, por estados con cierta autonomía que delegan poderes y competencias al Estado federado o nacional.

La ley nacional 11.959 de la república federativa del Brasil "*Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca*", fue sancionada en el año 2009 con el objetivo de promover el desarrollo de la pesca y de la acuicultura garantizando el uso sustentable de los recursos naturales de forma tal que se

optimicen los beneficios económicos en armonía con la conservación del medio ambiente y la biodiversidad. También, busca ordenar y fomentar la actividad pesquera con el fin de conservar los recursos pesqueros y los ecosistemas acuáticos y lograr un mayor desarrollo socioeconómico, cultural y profesional de aquellas personas que ejercen actividades relacionadas a la pesca y la acuicultura.

En principio resulta sencillo encontrar dentro de la ley un fuerte énfasis en el cuidado y conservación de los recursos pesqueros, así como la reglamentación en el uso de los mismos, pero prácticamente no hay mención acerca de la importancia estratégica del desarrollo de la actividad acuícola. Recién en el Capítulo V, denominado "*aquicultura*", se trata someramente la cuestión acuícola, principalmente en los artículos 19 y 20 donde realiza una clasificación de la acuicultura en función de la forma del cultivo, la dimensión explotada, la práctica de manejo y la finalidad del emprendimiento.

- Comercial
- Científica
- Recomposición ambiental (Objetivo de repoblamiento)
- Familiar
- Ornamental

Se aclara, además, que las empresas de acuicultura serán consideradas empresas pesqueras, con lo cual les cabe el mismo marco legal que a las empresas que realicen actividades pesqueras. Por ejemplo, el pedido de licencias de explotación y comercialización estará a cargo del organismo estatal de pesca. Es el Estado quien se encarga de conceder el derecho a usar las aguas y terrenos públicos para su uso

en acuicultura a través de instrumentos de ordenamiento como el Sistema Nacional de Autorización de Uso de Aguas.

El capítulo acuícola de la ley finaliza aclarando que el productor es el único responsable de asegurar la contención de los especímenes exóticos o genéticamente modificados y prohíbe enfáticamente su liberación al ambiente.

Posteriormente, la ley 11.959 establece estímulos a la actividad pesquera, incluyendo también a los productores acuícolas, quienes podrán ser beneficiarios de créditos rurales en concordancia con el art. 187 de la constitución federal de Brasil, sobre política agrícola.

El último artículo de la ley (art. 36) determina que las actividades de procesamiento del producto resultante de la pesca y la acuicultura serán ejercidas de acuerdo a las normas de sanidad, calidad, seguridad e higiene y medio ambiente dictadas y fiscalizada por órganos competentes del Estado. No se hace mención específica sobre que órganos estarán a cargo de dictar dicha normativa y controlar los procesos.

6.3.2 Normativa acuícola en Chile

Chile, a diferencia de Argentina y Brasil, es un país unitario cuyo poder se encuentra centralizado y extiende su accionar a lo largo de todo su territorio, facilitando en cierto grado la implementación de nueva normativa que permite que determinadas cuestiones ambientales, entre otros temas, sean más sencillos de resolver. Respecto a los asuntos relacionados con la pesca y la acuicultura, rige en Chile la “Ley General de Pesca y Acuicultura” (N°21.033), la cual surgió inicialmente con el mismo nombre en 1989 y fue modificando su estructura,

modernizándose hasta alcanzar el formato actual en 2017. De esta manera, la ley 21.033 resulta de la unión de los artículos relevantes de la ley general de pesca y acuicultura y de las leyes que la modifican de forma tal de facilitar a su interprete su comprensión.

La ley chilena busca proteger los recursos hidrobiológicos y reglar la actividad pesquera y acuícola, entendiendo por ello no solo a la explotación de estos recursos sino también a las actividades de procesamiento, transformación, almacenamiento, transporte y comercialización de recursos hidrobiológicos. De forma similar a la ley argentina y brasileña, su objetivo es la conservación y el uso sustentable de los recursos pesqueros y acuícolas, aplicando en este caso un enfoque precautorio y ecosistémico a la administración y salvaguarda de los recursos naturales acuícolas, estableciendo a la vez objetivos a largo plazo para evitar o eliminar la sobreexplotación de dichos recursos.

Más adelante en la ley, el capítulo que trata exclusivamente a la acuicultura (Título VI) dedica gran parte de su articulado a un aspecto clave de la actividad: la concesión de terrenos para la producción acuícola. Inicialmente establece como responsabilidad de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura la elaboración de los estudios técnicos para determinar las áreas apropiadas para el ejercicio de la acuicultura y el otorgamiento de concesiones y autorizaciones. Las concesiones acuícolas representan un derecho de explotación por un periodo de tiempo determinado, no entregan dominio alguno a su titular sobre las aguas ni el fondo marino ubicado en los sectores abarcados por ellas, y sólo les permitirá realizar aquellas actividades para las cuales les han sido otorgadas, de manera armónica y sustentable con otras que se desarrollen en el área comprendida en la respectiva

concesión o autorización, tales como la pesca artesanal y el turismo, entre otras. En este punto, la ley también aclara que no se otorgarán concesiones ni autorizaciones de acuicultura en aquellas áreas en que existan bancos naturales de recursos hidrobiológicos y que los cultivos de especies exóticas, tanto intensivos como extensivos, deben mantener una distancia mínima de 1,5 millas náuticas respecto de parques marinos y reservas marinas. En cualquier caso, los establecimientos que operen o mantengan especies exóticas sólo podrán desarrollar su actividad en circuitos controlados.

Las concesiones de acuicultura tienen un plazo de 25 años con opción a renovar por igual plazo. Estas tienen la característica de ser transferibles y susceptible de negocio.

La Subsecretaría de Pesca y Acuicultura también es la autoridad encargada de establecer las densidades de cultivo por especie o grupo de especies para las agrupaciones de concesiones y reglamentar las medidas de protección del medio ambiente para que los establecimientos que exploten concesiones acuícolas operen en niveles compatibles con las capacidades de carga de los cuerpos de agua lacustres, fluviales y marítimos, que asegure la vida acuática y la prevención del surgimiento de condiciones anaeróbicas en las áreas de impacto de la acuicultura. Asimismo, deben contemplarse medidas para la prevención de escapes y desprendimiento de ejemplares exóticos en cultivo, que tengan en cuenta la seguridad de las estructuras de cultivo, las obligaciones de reporte de estos eventos y las acciones de mitigación, cuyo costo de implementación estará a cargo del titular del centro de cultivo.

Con respecto a evaluaciones de impacto ambiental, la ley menciona que previo a las actividades de explotación acuícola, los solicitantes de concesiones deben presentar una caracterización preliminar del sitio como requisito para la evaluación ambiental de la solicitud respectiva. A fin de tener un control en línea de los parámetros ambientales de las agrupaciones de concesiones acuícolas, éstas deben disponer de una tecnología que registre y transmita al menos indicadores de conductividad, salinidad, temperatura, profundidad, corrientes, densidad, fluorescencia y turbidez.

A diferencia de las respectivas leyes de Argentina y Brasil, la normativa chilena hace mención al uso de antibióticos. En el art. 86 establece que la autoridad de aplicación deberá dictar un reglamento con las medidas de protección y control para evitar la introducción de enfermedades de alto riesgo. Dichas medidas podrán incluir la vigilancia y control de la aplicación de antimicrobianos y otros productos destinados al control de patologías y plagas. No obstante, el mismo artículo prohíbe de forma explícita la aplicación de antimicrobianos en forma preventiva en acuicultura y determina que se debe fijar un plan de uso de estas sustancias cuyas medidas deberán estar destinadas a la reducción de su utilización en acuicultura.

Finalmente, la ley establece la creación del Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura destinado a financiar los proyectos de investigación pesquera y de acuicultura, necesarios para la adopción de las medidas de administración de las pesquerías y de las actividades de acuicultura, que tienen como objetivo la conservación de los recursos hidrobiológicos.

6.3.3 Comparación regional

Como es posible apreciar en la Tabla 3, las leyes que tratan la actividad acuícola en los tres países analizados hacen énfasis en el desarrollo sustentable teniendo en cuenta los recursos, la geografía y los ecosistemas locales. En estos términos, Argentina cuenta con una ley más moderna y específica, mientras que Brasil y Chile fusionan pesca y acuicultura en un mismo cuerpo normativo, teniendo este último un gran desarrollo legal sobre ambas actividades productivas.

Otra característica notable de la norma argentina es que ésta no solo trata sobre el desarrollo de la acuicultura bajo el paradigma de la sustentabilidad, sino que también define incentivos y beneficios para promover su inserción en el territorio nacional. El asunto prácticamente no es mencionado en las leyes de los demás países sudamericanos, lo cual puede deberse, quizás, a que en Brasil no hay una idea de desarrollo de la acuicultura como un sector agroindustrial estratégico o porque en Chile la piscicultura ya se encuentra bien desarrollada y no requiere de mayores incentivos para su fomento.

Cabe señalar que la norma brasileña tampoco menciona entes específicos de control sanitario y considera a la acuicultura como un recurso pesquero más. Es por ello que, en función de lo analizado hasta el momento, se podría valorar a dicha ley como anticuada y muy general en su estructura.

El autor no analizó en ningún caso las sanciones por delitos o infracciones relacionadas a la actividad acuícola, lo que no significa que las leyes no lo trataran.

Tabla 3: Comparación de la legislación acuícola entre Argentina, Brasil y Chile

Cuadro Resumen	Argentina	Brasil	Chile
Estructura de gobierno	Federal	Federal	Unitario
Nombre	Ley Nacional N°27.231: Desarrollo Sustentable del Sector Acuícola.	Ley Nacional 11.959: Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca.	Ley N°21.033: Ley General de Pesca y Acuicultura.
Fecha	2015 (Reglamentada en 2017)	2009	2017 (Última actualización)
Normativa anterior	Excepto en ciertas provincias, solo orientada hacia los recursos pesqueros.	Prácticamente solo orientada hacia los recursos pesqueros.	Más de 30 años de legislación sobre acuicultura.
Objetivo general	Regular, fomentar y administrar, disponiendo las normativas generales necesarias para su ordenamiento, el desarrollo de la actividad de la acuicultura dentro del territorio de la República Argentina.	Promover el desarrollo de la pesca y de la acuicultura garantizando el uso sustentable de los recursos naturales de forma tal que se optimicen los beneficios económicos en armonía con la conservación del medio ambiente y la biodiversidad.	Protección, conservación y uso sustentable de los recursos hidrobiológicos a través de la reglamentación de la actividad pesquera y acuícola.
Foco	Exclusivamente en la actividad acuícola.	Principalmente en los recursos pesqueros.	Recursos hidrobiológicos (Pesca y Acuicultura).
Incentivos	Creación del FONAC para fomentar la actividad acuícola en distintas regiones del país. Beneficios económicos e impositivos hasta el año 2027.	Estímulos a la actividad pesquera, incluyendo también a los productores acuícolas, quienes podrán ser beneficiarios de créditos rurales.	Creación del Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura, destinado a financiar los proyectos de investigación pesquera y de acuicultura.
Sanidad	Responsabilidad del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA).	Organismo Nacional/Estatal de Pesca.	Subsecretaria de Pesca y Acuicultura.
Uso de antibióticos	El SENASA es la autoridad encargada de su control.	No hay mención específica sobre su control.	Prohíbe su aplicación de forma preventiva. Establece la obligación de tomar medidas para vigilar y controlar su aplicación.
Puntos clave	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo de la acuicultura sustentable. - Registro de productores. - Estímulos a la producción y fomento del sector acuícola. 	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo sustentable de la pesca y acuicultura. - Consideración de empresas acuícolas como pesqueras. - Estímulos económicos a la actividad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Protección de los recursos hidrobiológicos. - Áreas destinadas a la producción acuícola y concesiones. - Uso de antibióticos.

7. Tecnologías de Producción

Las tecnologías de producción piscícolas se presentan en una amplia gama de formatos cada uno con sus especificaciones técnicas, costos, ventajas y desventajas. No existen reglas verdaderamente efectivas que indiquen cual es el sistema ideal de cultivo para cada especie y, para sumar mayor complejidad a esta cuestión, intervienen diversos factores en la decisión final sobre que tecnología aplicar, tales como aspectos económicos, técnicos, climatológicos, geográficos y legales como, por ejemplo, restricciones al uso del agua.

Anteriormente, en el capítulo 4, se mencionó que los sistemas extensivos presentan el tipo de arreglo más sencillo y menos costoso de todos, pero a su vez están asociados a menores rendimientos productivos debido a la imposibilidad de soportar ciertas densidades poblacionales. Además, los sistemas extensivos requieren cambios de agua casi constantes para mantener los parámetros de calidad de agua estables ocasionando impactos ambientales relacionados al consumo de agua, al no tratamiento del agua residual y a los gastos energéticos asociados. En contrapartida, los sistemas intensivos permiten producir volúmenes mayores y obtener mejores rendimientos a pesar de su complejidad operativa y sus elevados costos de instalación. Estos sistemas, de ser correctamente manipulados, reducen drásticamente el consumo de agua y energía teniendo un menor impacto ambiental en el ecosistema local.

Alternativamente a las metodologías más populares, se introdujo el concepto de sistema acuícola integrado como una forma sustentable de producción no solo acuícola sino de otros cultivos vegetales. Así, surge la acuaponía como una

compleja técnica productiva de peces y vegetales, cuyos resultados en el plano ambiental y económico resaltan la importancia de la aplicación y desarrollo de estos métodos en la acuicultura moderna. Este capítulo estará destinado a analizar el funcionamiento de tales sistemas intensivos y, posteriormente, en el capítulo 8, se presentará un caso de implementación exitosa en el país.

7.1 Sistemas de recirculación en acuicultura (RAS)

7.1.1 Ventajas y desventajas de los RAS

Los RAS pueden ser definidos como sistemas que incorporan tratamientos y reutilización de agua en los que se renueva menos del 10% del volumen total de agua, ya que solo se les añade agua nueva a los tanques para compensar la pérdida de agua producto de salpicaduras, la evaporación y para reemplazar la que se utiliza para eliminar los materiales de desecho.

En la actualidad, los cultivos en sistemas abiertos tipo “raceways” o en estanques excavados todavía siguen siendo populares en muchos países, incluido la Argentina. En dichos casos, el volumen de agua requerido para trabajar de forma intensiva es muy elevado, con recambios de agua de aproximadamente tres veces por hora para el mantenimiento de la calidad de agua necesaria para la cría de peces, lo que supone grandes costos no solo económicos, sino también ambientales. Es por ello que los sistemas RAS representan una manera sustentable para el cultivo de peces de forma intensiva, brindando soluciones técnicas para lograr la disminución de impactos ambientales por minimización de los residuos provenientes de los cultivos y muy especialmente, la conservación del agua, elemento por demás precioso en los tiempos que corren. La reutilización del agua

en sistemas de recirculación permite producir una mayor cantidad de peces por unidad de área operativa, ubicar el sistema en cercanías del mercado de comercialización, cuyo territorio puede no ser climatológicamente apto para el cultivo de determinadas especies, favoreciendo la rentabilidad del productor.

A pesar de que los RAS son los sistemas de cultivo intensivo más utilizados en acuicultura en el mundo, el uso extendido de esta tecnología se acota en cierta medida a países desarrollados de territorio limitado y/o con un control estricto del consumo del agua como: Japón, Israel, Noruega, España, Alemania, Francia y otros. No obstante, cabe señalar que países latinoamericanos con potencial acuícola como Chile, México, Brasil y Ecuador están utilizando cada vez más esta tecnología en diferentes etapas del cultivo.

Generalmente los RAS presentan enormes ventajas respecto de los sistemas convencionales, entre ellas se pueden mencionar:

- Flexibilidad en la selección del emplazamiento con la posibilidad de localizar los cultivos cerca del mercado.
- Reducción de uso del suelo y agua.
- Disminución de los costos energéticos relativos.
- Reducción de efluentes líquidos.
- Mayor bioseguridad y calidad constante del producto.
- Control de la biomasa piscícola con la posibilidad de mayores cargas en los cultivos.

Además, los sistemas intensivos de recirculación cuentan con la ventaja de poder controlar el ambiente de cría y todos los parámetros de calidad del agua como

temperatura, oxígeno disuelto, pH, nitritos, nitratos, alcalinidad, etc.; obteniéndose así un óptimo crecimiento de los animales y la prevención de enfermedades. Sin embargo, estos parámetros de calidad de agua no actúan independientemente, sino que están interrelacionados de forma tal que el manejo del sistema puede resultar complejo, con lo cual es importante entender las interrelaciones entre los parámetros de calidad de agua por medio de su monitoreo continuo. Si dichos parámetros no son monitoreados y sus valores comprendidos correctamente la operación del sistema será ineficiente, no se podrá regular el sistema para que los valores de las variables excedan los límites correspondientes a la especie en cultivo. Como consecuencia, se producirá estrés en los animales, pudiendo dar como resultado un bajo crecimiento mientras que, si las condiciones negativas continúan en el tiempo, se alcanzará la muerte con la pérdida total de la producción.

Los diseños RAS cuentan con varias tecnologías de proceso que trabajan en conjunto para garantizar una mínima pérdida de agua. Estas se pueden diseñar con diferentes niveles de complejidad, aunque los verdaderos diseños de recirculación de agua implican el uso de equipos para remover y almacenar de manera segura los residuos, garantizar la limpieza, reutilizar el agua y mantener óptimas condiciones de cría. Sumado a ello, los factores biológicos (que son propios de la especie a cultivar) junto a los factores físicos y químicos del agua se interrelacionan en una serie de complejas reacciones que influyen sobre todos los aspectos del cultivo y actúan sobre la tasa de crecimiento de los peces y la sobrevivencia de estos, lo que hace imprescindible que el operador este familiarizado

con la química y física del agua del cultivo y las operaciones unitarias intervinientes para obtener éxito en este sistema de producción.

Por otra parte, el requerimiento correspondiente a la cantidad de agua de abastecimiento para la producción proyectada es un punto clave cuando se está definiendo que tipo de sistema de recirculación instalar y en donde ubicarlo. La cantidad de agua a utilizar dependerá de diferentes factores, como la especie a cultivar, la densidad de producción, las prácticas de manejo acuícola, la tecnología de producción a emplear y el grado de riesgo que el productor esté dispuesto a aceptar. Por lo tanto, este parámetro deberá ser calculado con precisión, lo que agrega una complejidad adicional cuando el sistema utilice la tecnología de recirculación.

Como el lector podrá apreciar, el manejo de un RAS no es sencillo y, aunque presenta diversos beneficios, hay algunas razones para el poco éxito de su implantación:

- Elevado costo de inversión. Los RAS requieren una mayor inversión económica que otros sistemas de producción.
- Cultivo de especies con precios de mercado que muchas veces no remuneran el costo operacional y/o no son capaces de retornar el capital invertido.

Se debe destacar que los sistemas de recirculación en cultivos acuáticos demandan una considerable inversión y capital operacional. Así, un cultivo puede ser enfocado sobre especies que muestren su buen valor en el mercado y conducido de tal forma que se optimice el uso de las instalaciones y la producción, posibilitando

diluir importantes componentes del costo de un emprendimiento, reduciendo los costos de producción y mejoramiento o retorno del capital invertido.

- Elevada complejidad de operación. El desconocimiento de los principios básicos que rigen el funcionamiento del sistema y la falta de capacitación de operadores y gerentes para la comprensión y actuación sobre las interacciones físicas, químicas y biológicas que determinan la salud de los componentes del sistema, constituyen una barrera difícil de superar a la hora de emplear esta tecnología.
- Inadecuado dimensionamiento y diseño del sistema, tentativas de operar con componentes inadecuados y hasta ausencia de operaciones fundamentales.
- Inadecuado manejo sanitario y falta de conocimiento sobre las buenas prácticas de manejo y de medidas profilácticas para evitar problemas de enfermedades y contaminación.

Si finalmente el operador decide implementar un sistema productivo RAS, deberá hacer frente a una serie de procesos y equipos que serán analizados a continuación.

7.1.2 Componentes básicos del sistema

De un modo simplificado y como se muestra en la Fig. 26, se puede dividir al sistema de recirculación acuícola en seis componentes principales:

- Tanques de cultivo
- Decantadores y filtros mecánicos
- Biofiltros

- Sistema de aireación/oxigenación
- Sistema de bombeo
- Unidad de cuarentena

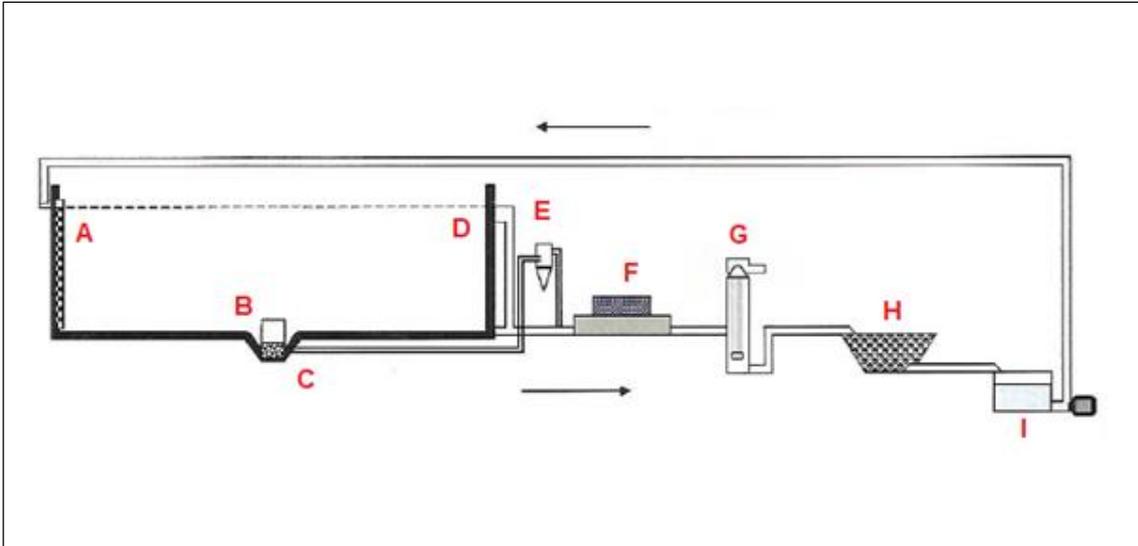


Fig. 26: Esquema simplificado de los principales componentes de un RAS

7.1.2.1 Tanques de cultivo

Son empleados en diversos formatos y diseños para facilitar la concentración de los residuos sólidos hacia el drenaje central. Algunos sistemas usan tanques rectangulares u ovals, los cuales posibilitan un mejor aprovechamiento del espacio.

En el sistema, el agua de entrada se distribuye verticalmente en la columna de agua a través de un tubo perforado (A, Fig. 26) y entra en sentido tangencial a la pared del tanque, formando una corriente circular de agua que facilita la concentración de los sólidos decantados en el drenaje central (B), que luego son conducidos por medio de cañerías de salida (C) hacia el decantador, desalojando los sólidos

concentrados en el fondo del tanque. El exceso de agua generalmente sale del tanque por un drenaje superficial (D)

7.1.2.2 Decantador/Sedimentador y filtros mecánicos

La sedimentación es una operación en la cual los sólidos suspendidos en un líquido son separados por efecto de la gravedad. Durante la misma los sólidos decantados, cuyas partículas tienen un tamaño superior a las 100 μm , son concentrados en el fondo del sedimentador (E) para luego ser removido. Los sedimentadores pueden ser tan sencillos como piletas de forma rectangular o circular, levemente cónicas que permite la acumulación y posterior remoción de lodos. Muchos de ellos también cuentan con sistemas mecánicos de barrido de fondo y/o superficie (Fig. 27).

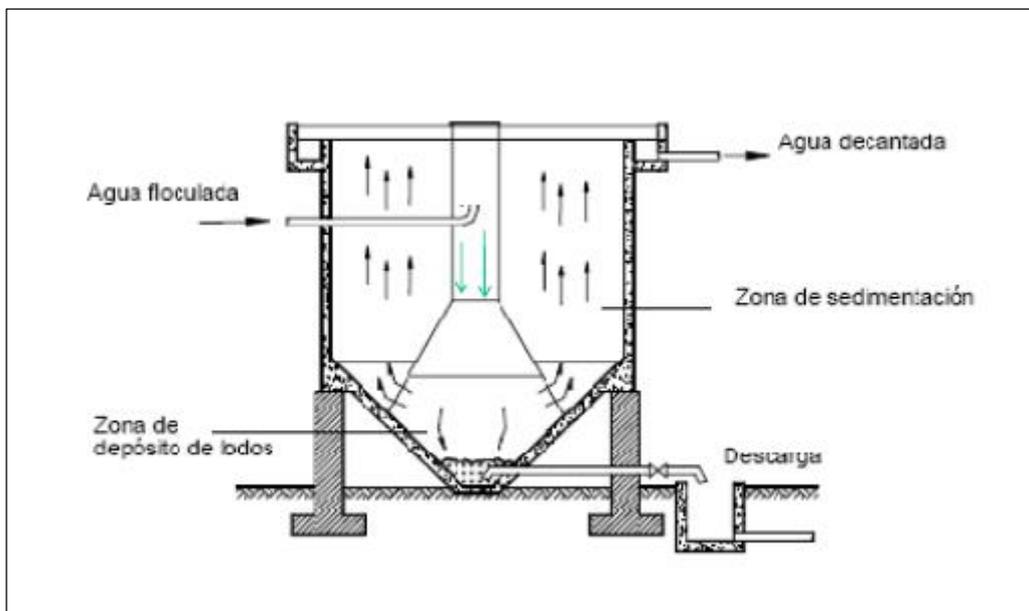


Fig. 27: Esquema de un sedimentador vertical con remoción hidráulica de lodos

Posteriormente, los filtros mecánicos (F) concentran y remueven los sólidos en suspensión (partículas entre 40 y 100 μm) en los cuales están incluidos algunos microorganismos. Su eficiencia dependerá del tamaño de las partículas a retener y

del tamaño y forma del medio filtrante. La forma más simple consiste en una criba fija puesta cruzando la trayectoria del flujo, de tal forma que el fluido pasa a través de ella y las partículas de mayor tamaño se acumulan en el mismo, pero también es posible utilizar filtros de tela o de arena (Fig. 28). Estos últimos consisten en una o varias capas de arena o cualquier otro material particulado de diferente granulometría a través del cual se fuerza el paso del agua, quedando así atrapadas las partículas en los espacios intersticiales de la arena.

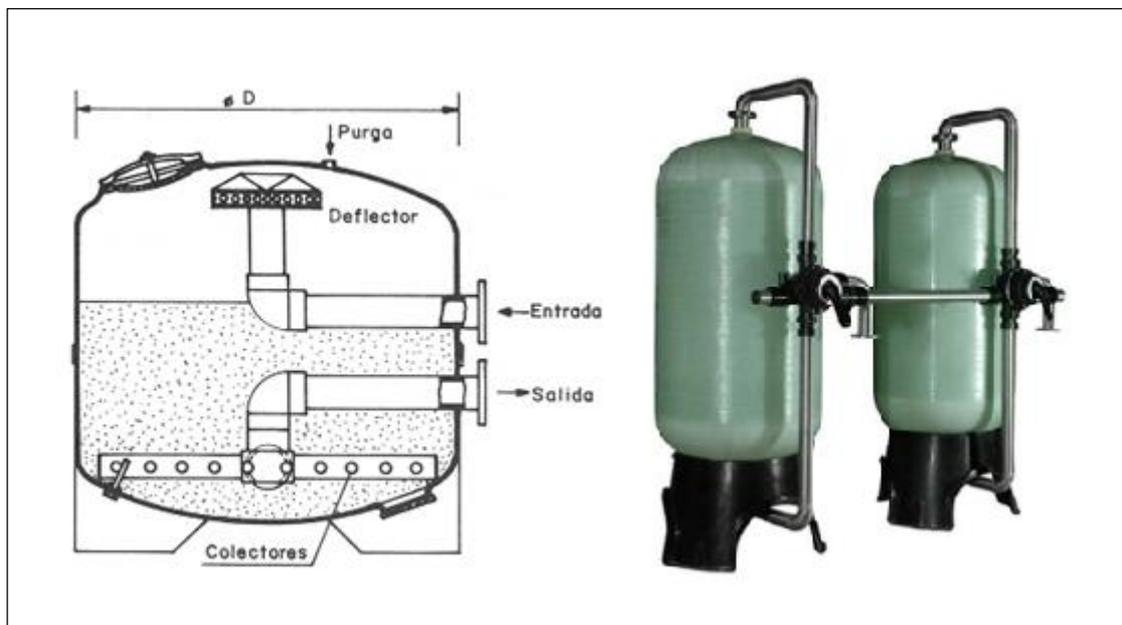


Fig. 28: Filtro de arena

Los sólidos disueltos con partículas menores a las 40 μm pueden ser concentrados o removidos del sistema por medio de fraccionadores de espuma (G), también conocidos como skimmers (Fig. 29). Estos equipos se emplean en acuicultura para eliminar proteínas y lípidos mediante la producción de espumas. Básicamente, su funcionamiento consiste en la inyección de aire a través de un difusor que sube por una columna mezclándose con el agua, el oxígeno del aire oxida y coagula la materia orgánica disuelta mientras que el material solidificado va formando una

capa de espuma en la superficie que luego se traslada a un recipiente para ser higienizado de forma periódica.

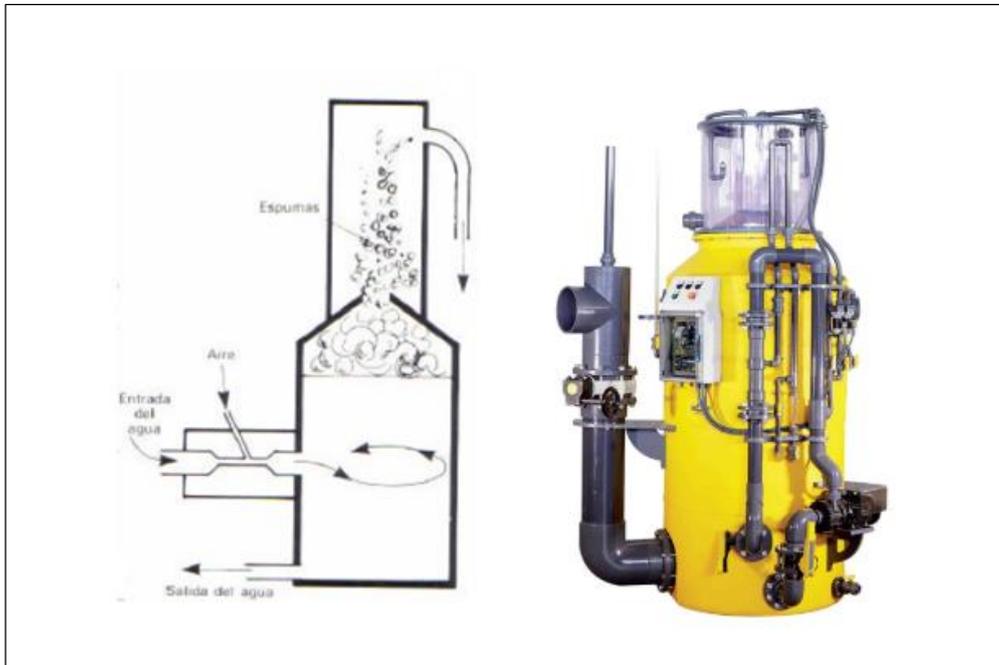


Fig. 29: Skimmer o fraccionador de espuma

7.1.2.3 Biofiltros

Los biofiltros, también denominados filtros biológicos (H) son unidades de proceso donde la actividad biológica se desarrolla sobre una estructura o soporte. El soporte está fijo y el efluente es distribuido en forma uniforme sobre el relleno mientras circula una corriente de aire en contracorriente (Fig. 30). En los sistemas acuícolas, el relleno posibilita la fijación de las bacterias nitrificadoras que promueven la oxidación del amoníaco a nitrato.

El material utilizado en los biofiltros debe ser inerte, no compresible, y no degradable biológicamente. Los más utilizados en acuicultura son arena, roca molida o ripio de río, algunas piezas de material plástico o cerámico en forma de pequeños gránulos o grandes esferas, anillos o sillas de montar. Cada uno de ellos

posee una superficie específica disponible para la fijación de las bacterias por metro cúbico de relleno (m^2/m^3). Por ejemplo, la arena gruesa posee una superficie específica de $2300 \text{ m}^2/\text{m}^3$ y las esferas plásticas de 3 mm de diámetro tienen una superficie específica aproximada de $1700 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Cuanto menor sea la partícula, mayor superficie específica tendrá el relleno, pero, por otro lado, a menor tamaño de partícula, mayor facilidad de obstrucción del relleno, con lo cual, para una eficiencia máxima, el medio de soporte usado debe balancear una alta superficie específica con una suficiente fracción de hueco para un adecuado comportamiento hidráulico. Además, como se verá más adelante, los biofiltros deben ser cuidadosamente diseñados para evitar la limitación por oxígeno o la carga excesiva de sólidos, DBO, o amoníaco.

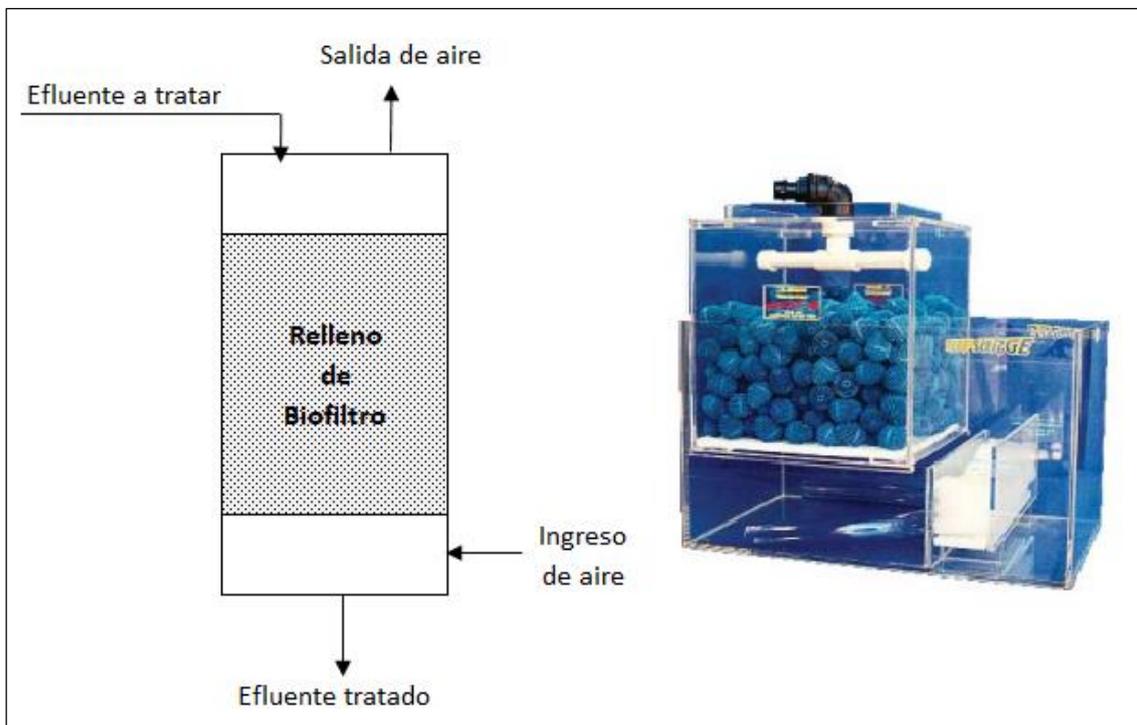


Fig. 30: Esquema básico de un biofiltro

El diseño y selección de un biofiltro requiere tener en cuenta ciertas recomendaciones como, por ejemplo:

- Eficiencia del sistema de remoción de sólidos.
- La carga máxima de ración que será aplicada en el sistema y calidad de dicha ración, lo que proporcionará una idea de cuántos kilos de residuos sólidos se generarán diariamente.
- Tasa esperada de remoción de amoníaco según las diferentes opciones de diseño del biofiltro.
- Caudal de agua a través del biofiltro.
- Disponibilidad de agua para eventuales diluciones del agua en el sistema.

7.1.2.4 Sistema de aireación y oxigenación

Está compuesto por sopladores de aire y/o difusores, aireadores mecánicos de diverso tipo (aireadores de paso o bombas de agua), de inyección directa de oxígeno o una combinación entre dos o más tipos de equipos de aireación/oxigenación.

El diseño y posicionamiento de los aireadores y difusores es crítico ya que, de estar mal dimensionados, pueden provocar excesiva agitación dentro de los tanques de cultivo, resuspendiendo y fraccionando los residuos sólidos. Por ello no se recomienda concentrar la operación de aireación en los tanques de cultivo sino instalarla en otros puntos del sistema, particularmente después del filtrado de los sólidos en suspensión. Generalmente, la mayor parte de la aireación suele aplicarse antes o inmediatamente después del biofiltro, oxigenando el agua que retornará a los tanques de cultivo. Por otra parte, como se vio en el apartado 5.2.7, se debe priorizar la utilización de aireadores de burbuja fina con una disposición en serie

para optimizar la eficiencia energética de la instalación mientras se mantienen estables los parámetros de calidad de agua.

7.1.2.5 Sistema de bombeo

En la mayoría de los sistemas acuícolas el flujo de agua dentro del sistema se produce en parte por gravedad y en parte por bombeo, permitiendo el retorno del agua tratada y oxigenada hacia los tanques de cultivo. Lo usual es utilizar bombas centrífugas de bajo costo y fácil mantenimiento, sobredimensionadas en un 15 – 20 % para contar con una potencia levemente superior a la requerida por de caudal operativo y la altura del sistema. También se recomienda el acoplamiento de bombas en paralelo para satisfacer las demandas variables de agua y evitar paradas imprevistas por desperfecto o mantenimiento de los equipos de bombeo.

La posición de las bombas en el sistema depende de la distribución vertical de sus componentes y de los tipos de filtro y biofiltros utilizados (algunos ya poseen bombas de agua para su funcionamiento). En el momento de planificar el sistema, el diseño del mismo debe concebirse de tal modo que se minimicen los puntos de bombeo para reducir el consumo de energía y los costos por mantenimiento; así como los riesgos recurrentes de fallas en los componentes del sistema. A su vez, se debería optar preferentemente por bombas de alto caudal y baja potencia ya que presentan un menor gasto eléctrico y menos mantenimiento con el tiempo.

7.1.2.6 Unidad de cuarentena

Esta unidad debe estar físicamente separada de la unidad de producción y contar con sus propios tanques, filtros, biofiltros, sistema hidráulico y equipos de aireación. Los peces que llegan por primera vez al sistema deberán permanecer en

observación en esta unidad durante algunas semanas para certificar que están libres de organismos patógenos. Durante su cuarentena, los peces generalmente recibirán un tratamiento profiláctico y terapéutico que elimine a los potenciales parásitos o para tratar algún tipo de enfermedad.

7.1.3 Tipos de arreglo

Tanto las operaciones que conforman al sistema como la disposición de sus componentes y el tipo de equipamiento a emplear pueden variar dependiendo de las necesidades del acuicultor. Teniendo en cuenta estos factores, y de manera simplificada, se destacan dos tipos de arreglos básicos de RAS. En primer lugar, se encuentran los sistemas con una única línea de tratamiento de agua (Fig. 31), que presentan un menor costo de instalación y operación, pero cuya configuración conlleva algunos inconvenientes, como un mayor riesgo de diseminación de enfermedades desde un tanque hacia todos los demás tanques del sistema.

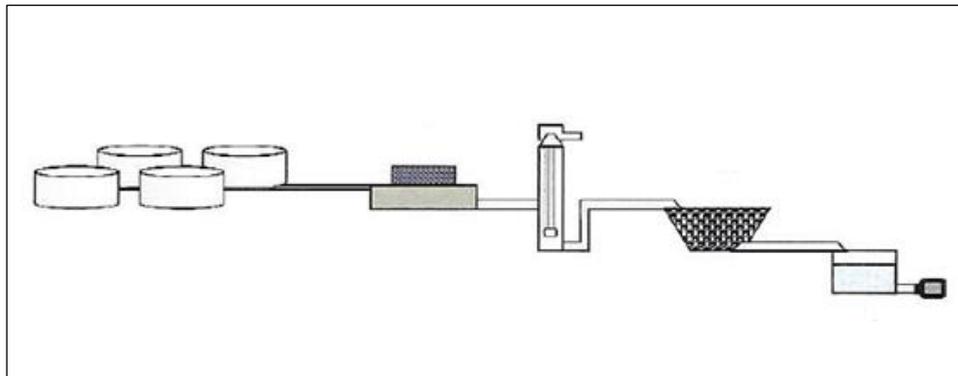


Fig. 31: Tanques con tratamiento y recirculación de agua en una misma línea

Por otra parte, el tratamiento del sistema completo es más oneroso y menos eficiente, existiendo aún el riesgo de que los productos usados perjudiquen el funcionamiento del sistema de filtración y tampoco será posible realizar vacíos sanitarios, a no ser que la producción se paralice por completo. El otro

inconveniente que presentan es la necesidad de interferencia en todos los tanques cuando existe necesidad de limpieza de filtros o de reparación estructural del sistema.

En segundo lugar, están los sistemas con todos los tanques aislados en los que cada uno de estos cuenta con su propio sistema de tratamiento de agua (Fig. 32). Este diseño confiere mayor seguridad en cuanto al control sanitario o a la necesidad de intervenciones estructurales, pero la inversión inicial, la operación y el mantenimiento del sistema serán más onerosos ya que se necesitará de equipos independientes por cada tanque, por ejemplo, filtros, biofiltros y bombas de pequeño calibre que necesitan de inspección, mantenimiento y limpieza; aumentando la demanda de mano de obra. Este concepto también dificulta el manejo diario, particularmente en lo que se refiere al monitoreo y corrección de la calidad del agua, que precisa ser personalizado para las condiciones de cada tanque.

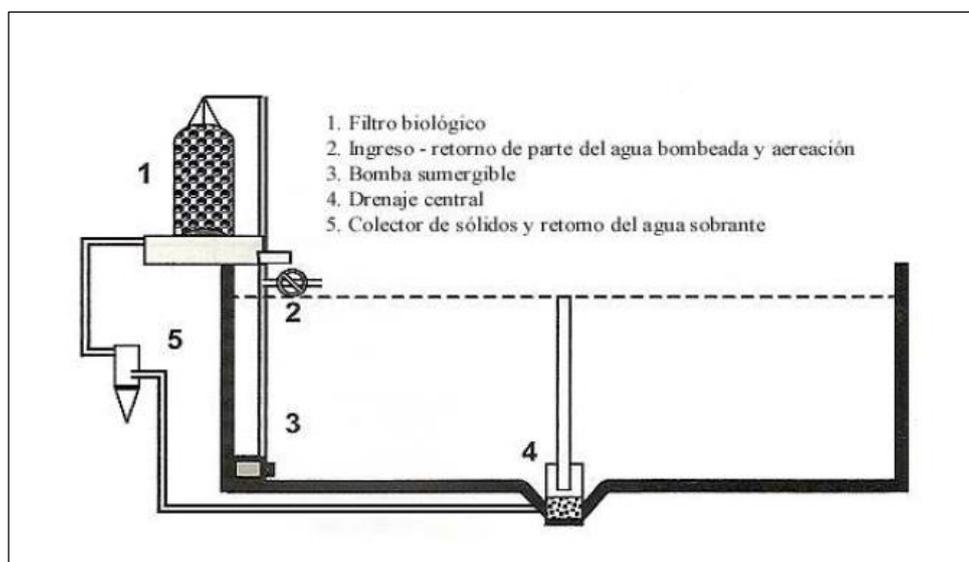


Fig. 32: Tanque con sistema individual de tratamiento y recirculación

Para evitar o atenuar las características negativas que traen aparejados este tipo de arreglos se debería constituir un sistema más equilibrado en el cual se reúnan una serie de tanques en dos, tres o más baterías con tratamiento de agua independiente. Esto elimina muchos de los inconvenientes discutidos y al mismo tiempo posibilita el mantenimiento de las condiciones ambientales diferenciadas de acuerdo con la especie o grupo de especies producidas en cada batería (por ejemplo, temperatura y/o salinidad más elevada).

7.1.4 Conceptos fundamentales

7.1.4.1 Remoción de sólidos

Los sólidos generados en los tanques de cultivos, compuestos fundamentalmente por heces y sobras de raciones, son la principal fuente de residuos orgánicos del sistema, llegando a representar entre el 20 o 30% de la ración ofrecida (Kubitza, 2006). A su vez, el volumen de los sólidos generados puede ser mayor o menor a esta cifra dependiendo de la calidad de la ración, el manejo alimentario adoptado y la calidad del agua. Los sólidos pueden ser clasificados en tres grupos:

- Los sólidos decantados (o sedimentables) son aquellos con partículas mayores a 100 μm y representan cerca del 50% del total de sólidos. Estos son fácilmente concentrados en el drenaje central en el fondo de los tanques y pueden ser removidos del sistema utilizando conos o tanques de decantación.
- Los sólidos suspendidos, en términos prácticos, son los de partículas de entre 40 y 100 μm que componen el 25% de los sólidos totales y salen de

los tanques suspendidos en la columna de agua. Estos sólidos solamente pueden ser removidos del sistema con la ayuda de filtros mecánicos.

- Los sólidos finos o disueltos, que agrupan las partículas menores de 40 μm , gran parte debajo de 20 μm , y diversas sustancias disueltas en el agua como aminoácidos o carbohidratos entre otras.

Cuanto mayor sea el tiempo que los sólidos permanezcan dentro del sistema, mayor será la demanda biológica de oxígeno (DBO), la producción de amoníaco y de gas carbónico por las bacterias y otros organismos que descomponen la materia orgánica, lo que se verá reflejado en un aumento de los costos operativos debido a la creciente tasa de circulación de agua en el filtro biológico y en una necesidad mayor de inversiones en biofiltros. El amoníaco generado innecesariamente dentro del sistema aumentará los costos de aireación, a causa de un mayor consumo de oxígeno por el proceso de nitrificación, y de correctivos de acidez/alcalinidad del agua. Del mismo modo, el atraso y la ineficiencia en la remoción de los sólidos, se traduce en otro incremento del consumo de oxígeno en los procesos biológicos de descomposición de materia orgánica, demandando el empleo de una mayor potencia en aireación y traducido por lo tanto en un mayor costo de inversión y de operación del sistema. Adicionalmente, la acumulación de materia orgánica perjudica la operación de los filtros, obliga a invertir e inmovilizar mayor capital en filtros de mayor capacidad y aumenta la necesidad de retrolavados y limpiezas más frecuentes. Esto implica a su vez, un mayor costo operacional y mayor uso de agua. Y, por último, la retención de materia orgánica favorece la proliferación de patógenos con resultados adversos para el bienestar y la salud de los animales, así como su desempeño productivo y sobrevivencia.

7.1.4.2 Nitrificación

Luego de haber removido los sólidos, el agua debe ser dirigida hacia los filtros biológicos donde se lleva a cabo el proceso de nitrificación. El biofiltro posee un sustrato al que se fijan las bacterias nitrificadoras del género *Nitrosomonas*, que realizan la oxidación del amoníaco (NH_3) a nitrito (NO_2^-), y del género *Nitrobacter*, que oxidan el nitrito hasta nitrato (NO_3^-), comprendiendo el proceso de nitrificación (Ver Anexo V). Durante el mismo se consumen cerca de 4,6 g de oxígeno por cada gramo de amoníaco oxidado a nitrato (por estequiometria) y se produce gas carbónico (CO_2) y generación de acidez en el medio, cuyo exceso es liberado y promueve una gradual reducción del pH y de la alcalinidad total del agua. Así, además de la recomposición del oxígeno y la eliminación del exceso de gas carbónico a través de la aireación del agua luego del pasaje por el biofiltro, de tiempo en tiempo, es necesario realizar aplicaciones controladas de calcio o cal hidratada para recomponer el pH y la alcalinidad del agua del sistema.

La eficiencia de la nitrificación dependerá principalmente de factores inherentes al diseño y a la construcción del filtro biológico, así como al mantenimiento de las condiciones ambientales favorables para el desarrollo y actividad de las bacterias nitrificadoras. Estas condiciones deben ser monitoreadas continuamente y, si fuera necesario, corregidas. El biofiltro debe ser adecuadamente dimensionado para soportar la tasa de alimentación planificada para el sistema, de modo que la nitrificación se produzca a tasas más rápidas o como mínimo, iguales a la tasa de producción de amoníaco en el sistema previniendo la acumulación de amoníaco en el agua y los consecuentes perjuicios en el desempeño y la salud de los peces. Los biofiltros evaluados en sistemas de recirculación con peces remueven cerca del 0,2

a 0,6 g de NH_3/m^2 del área de contacto del sustrato en el interior del biofiltro (Kubitza, 2006).

Los factores que afectan a la velocidad de nitrificación son:

- **pH:** Impacta tanto en la velocidad de nitrificación como en la relación entre las formas de nitrógeno amoniacal ionizado y no ionizado. El rango óptimo de pH se encuentra alrededor de la neutralidad y no debería ser inferior a 6 o superior a 9.
- **Alcalinidad:** Es una medida de la capacidad de amortiguación (buffer) de pH de un sistema acuático. Aproximadamente por cada gramo de nitrógeno amoniacal reducido a nitrógeno de nitrato, se consumen 7,14 g de alcalinidad, la cual se puede reemplazar fácilmente por la adición de bicarbonato de sodio (NaHCO_3).
- **Temperatura:** Como cualquier otra cinética química o biológica, juega un rol significativo en la velocidad de reacción de la nitrificación y, típicamente, una disminución en la temperatura de operación resulta en una reducción de la tasa de remoción. No obstante, en la práctica, la temperatura de operación de un biofiltro esta normalmente determinada por los requerimientos de las especies en cultivo, y no por las necesidades de las bacterias.
- **Oxígeno:** Suele ser el factor limitante de la tasa de nitrificación de los biofiltros debido a los bajos niveles de entrada y por la demanda competitiva de las bacterias heterotróficas. Como se remarcó anteriormente, por cada gramo de nitrógeno amoniacal oxidado a nitrito, se requieren 4,6 g de oxígeno. Los niveles de oxígeno en el efluente del

biofiltro no deberían ser menores a 2 mg/l para mantener a un máximo la tasa de nitrificación y, a su vez, no elevar demasiado los costos de la operación de oxigenación para cumplir con los requisitos del sistema.

- **Amoníaco:** La concentración del amoníaco no ionizado puede afectar directamente la tasa de nitrificación. Por lo general la capacidad del biofiltro para oxidar nitrógeno es proporcional al aumento de la concentración del amoníaco en un rango limitado de concentraciones.
- **Salinidad:** Luego de un tiempo, las poblaciones de bacterias nitrificantes pueden aclimatarse a casi cualquier nivel de salinidad. Sin embargo, cambios rápidos pueden producir un shock en las bacterias nitrificantes y hace decrecer las velocidades de remoción del amoníaco y de nitrito.

Para más información sobre parámetros de calidad de agua en RAS ver apartado 7.2.3 “Calidad de agua en acuaponía”.

Entre los diversos factores ambientales que perjudican el trabajo de las bacterias nitrificadoras se destacan:

- Baja concentración de oxígeno en el interior del biofiltro (ideal > 4 mg/l).
- Bajo pH en el agua del biofiltro (ideal entre 7 y 8).
- Niveles elevados de concentración de materia orgánica en el biofiltro, que favorece el desarrollo de bacterias heterotróficas y otros organismos que compiten con las bacterias nitrificadoras por el espacio de fijación, el oxígeno y los nutrientes.

Por otra parte, las bacterias heterotróficas crecen significativamente más rápido que las bacterias nitrificantes y prevalecen por sobre estas compitiendo por

espacio y oxígeno en los biofiltros cuando las concentraciones de materia orgánica disuelta y particulada son altas. Es por esta razón que resulta imperativo que la fuente de agua para los biofiltros sea mantenida tan limpia como sea posible con la mínima concentración de sólidos totales.

7.1.4.3 Restauración de oxígeno y eliminación de gas carbónico

Luego del pasaje por el biofiltro, el agua debe ser aireada de modo tal que se recomponga el oxígeno consumido y se remueva el gas carbónico generado por la respiración de los peces, la descomposición de parte de la materia orgánica del sistema y por el proceso de nitrificación. En promedio, cada kilo de ración ofrecida resulta en un consumo directo de 250 g de oxígeno por los peces y un consumo indirecto de 140 g de oxígeno por las bacterias del biofiltro (Kubitza, 2006), o sea que cada 1 kg de ración se consumen aproximadamente 400 g de oxígeno en el sistema. La restauración de los niveles de oxígeno es realizada por medio del uso de los sopladores de aire o difusores, sistemas de Venturi instalados en puntos del sistema donde existe presurización del flujo de agua, con aireadores mecánicos (propulsores, aireadores de paleta, bombas de agua entre otros tipos) y también por la aplicación de gas oxigenado con el uso de equipos que posibiliten una eficiente difusión del gas en el sistema.

7.1.4.4 Desinfección

El proceso de desinfección se emplea para eliminar bacterias, virus y otros organismos que pudieran interferir en los cultivos (hongos, zooplancton, etc.). Este debe llevarse a cabo tras la filtración mecánica y biológica ya que las partículas en suspensión y compuestos orgánicos generalmente disminuyen la eficacia de dichos mecanismos. La

desinfección de las aguas puede efectuarse por métodos físicos (UV y calor) o químicos (ozono, cloro), mientras cumpla con las siguientes condiciones de efectividad:

- Destruir los microorganismos nocivos que pueda transportar el agua que se va a desinfectar.
- Actuar en un corto período de tiempo, en las condiciones físicas, de pH y temperatura que tenga el agua y con las posibles variaciones en las concentraciones de microorganismos.
- No tener efectos perjudiciales para los animales acuáticos.
- Ser fácil de manipular y almacenar.
- Ser fácil y rápida la determinación de su concentración en el agua.

7.1.4.5 Seguridad

La operación del sistema demanda energía eléctrica y la interrupción de la misma puede producir serios problemas. En aproximadamente 15 - 60 minutos, la concentración de oxígeno en el agua puede caer hasta niveles letales, por lo tanto, es preciso contar con un sistema confiable de "back-up". Generalmente se utilizan generadores, sistemas de alerta y hasta inclusive una línea de distribución y difusión de oxígeno directamente conectado a cada uno de los tanques.

7.1.4.6 Uso de raciones de alta calidad

En RAS como en cualquier otro sistema de producción acuícola, el uso de raciones de alta calidad es un punto clave para el éxito del emprendimiento. En estos sistemas los organismos acuáticos dependen pura y exclusivamente del alimento ofrecido, con lo cual, las raciones deben contener, además de un determinado valor proteico, la cantidad necesaria de vitaminas y minerales para evitar deficiencias y

eventuales problemas de salud en los peces. Por otra parte, con el uso de raciones de alta digestibilidad, el aporte de residuos sólidos al sistema será menor, evitando sobrecargas en los distintos componentes del sistema como filtros mecánicos, biológicos y en el sistema de aireación. Además, las raciones con adecuado balance de energía/proteína y un buen equilibrio en aminoácidos, colaboran en la reducción de la excreción del amoníaco en el caso de los peces, aliviando el trabajo de las bacterias nitrificadoras.

7.1.4.7 Monitoreo y corrección de la calidad del agua

Deberá realizarse el monitoreo continuo del oxígeno, el amoníaco total y el gas carbónico en los tanques de cultivo; del pH y de la alcalinidad total (que tienden a bajar a lo largo del tiempo); así como de otros parámetros complementarios (nitrito, nitrato, iones cloruros, sólidos en suspensión, entre otros). El operador del sistema deberá disponer de equipos confiables para monitoreo de la calidad de agua. Además de ello, deberá conocer los principios, interacciones y procesos físicos, químicos y biológicos que determinan la calidad del agua en los sistemas de recirculación. También deberá informarse y conocer las estrategias utilizadas en la corrección de la calidad de agua (los principios que rigen la aireación; el uso de cal para corregir el pH y la alcalinidad, así como para reducir la concentración de gas carbónico en el agua; la aplicación de sal (cloruro de sodio) para prevenirse frente a los elevados niveles de nitritos, entre otros). A su vez, deberán monitorearse los niveles y el flujo de agua en los tanques y filtros; el comportamiento, respuesta alimentaria y crecimiento de los peces; el estado sanitario de los animales (presencia de parásitos y/o señales de enfermedades) y los equipos que mantienen

el sistema en operación (bombas, filtros, registros, difusores, biofiltro, generadores, etc.).

7.2 Acuaponía

7.2.1 Definición, ventajas y desventajas

La acuaponía es una técnica que combina hidroponía y acuicultura en un sistema cerrado de recirculación de agua tipo RAS. La hidroponía es un método de cultivo de vegetales que no hace uso del suelo, sino que utiliza diferentes medios inertes de fijación (sustratos) que brindan humedad y soporte para que las raíces estén en contacto con una solución de nutrientes que es irrigada al sistema. Entonces, la acuaponía surge de la unión del cultivo hidropónico de vegetales y el cultivo intensivo de peces en un mismo sistema, en el cual el agua proveniente de los tanques de cultivo de peces, que contiene los metabolitos excretados por los animales, es recirculada a través de filtros mecánicos y biológicos hacia los sustratos donde crecen las plantas, proveyéndoles nitratos y otros nutrientes para luego retornar a los tanques de cría acuícolas. Las plantas juegan el papel de purificadoras, reduciendo considerablemente la renovación de agua del sistema. De esta manera, el proceso acuapónico permite que peces, plantas y bacterias prosperen simbióticamente creando un ambiente saludable para cada uno, siempre y cuando el sistema se encuentre adecuadamente balanceado.

La acuaponía unifica dos de los métodos más eficientes en sus respectivos campos de aplicación, logrando no solo mayores rendimientos sino también hacer un mejor uso del suelo y el agua, mejorar la gestión de los factores productivos y obtener productos de alta calidad y seguros. Por lo tanto, la acuaponía es un

sistema sustentable de producción intensiva de alimentos que implica una serie de beneficios al productor y al ambiente:

- Producción de pescado y vegetales con una única fuente de nitrógeno.
- No requiere suelo cultivable.
- No necesita fertilizantes o pesticidas.
- El uso de agua es extremadamente eficiente. Recambios de agua aprox. del 1-3 %, comparado con el 10% de un RAS convencional.
- Altos rendimientos y calidad de la producción.
- Mayores niveles de bioseguridad y bajo riesgo de contaminación externa.
- Baja creación de residuos.
- Puede ser utilizada en lugares con tierras no cultivables.
- Tareas de cultivo y cosechado sencillas y seguras.
- Posibilidad de potenciar economías comunales.

A pesar de los grandes beneficios que reporta esta actividad, la acuaponía puede ser muy complicada y costosa de implementar, con lo cual es fundamental comprender que esta actividad se basa en la gestión de todo un ecosistema que involucra peces, plantas y bacterias. Por este motivo, no está de más comentar que la acuaponía posee ciertas debilidades o complicaciones que se deben tener en cuenta a la hora de implementar un proyecto de estas características:

- Al igual que en RAS, los costos de inversión son elevados comparados con métodos tradicionales.

- Posee una elevada complejidad de operación. Los operadores no sólo deben tener conocimiento de la biología del ecosistema completo, sino también del manejo de variables fisicoquímicas y operaciones unitarias.
- No siempre se logra la armonía entre los requerimientos de plantas y peces.
- Gestión diaria y monitoreo constante del sistema.
- Requiere de un suministro confiable de energía eléctrica.

Así, la acuaponía es más apropiada donde la tierra es costosa o de baja calidad y el acceso al agua es limitado, como desiertos o regiones áridas y/o salinizadas. Como no hay necesidad de tierra fértil se evitan los problemas de compactación, salinización y contaminación de suelos. De igual manera, su utilización es recomendada en ambientes urbanos y periurbanos donde hay poca tierra disponible. No obstante, la acuaponía no es recomendada en lugares donde peces y plantas no alcancen sus temperaturas óptimas de crecimiento.

Nuevamente se destaca que esta técnica puede ser excesivamente complicada, exigiendo al operador un conocimiento holístico del sistema y mantenimiento constante de los equipos involucrados.

7.2.2 Balance del sistema acuapónico

A causa de que el sistema acuapónico involucra cantidades de proteínas metabolizadas, es clave contar con un proceso de biofiltración lo suficientemente robusto para mantener el balance de cargas en las tres comunidades presentes en el sistema. Si la biomasa animal y el tamaño del biofiltro están en equilibrio, la unidad acuapónica podrá procesar adecuadamente el amoníaco generado, tarea

para nada sencilla y cuyo fracaso puede atribuirse a alguna de las siguientes cuestiones:

- A) Una biofiltración débil e insuficiente que no pueda soportar la cantidad de residuos producidos por los peces, dando lugar a un aumento en la concentración de amoníaco tóxico para los animales acuáticos.
- B) Si la unidad vegetal está subdimensionada el sistema comenzará a acumular nutrientes, aumentando su concentración. Esto no es dañino para las especies animales o vegetales, pero es indicio de un bajo desempeño de la unidad vegetal.
- C) Cuando se utiliza un elevado volumen de plantas y poca biomasa animal, la cantidad de nitratos y otros nutrientes será insuficiente para cubrir las necesidades de la unidad vegetal. Esta condición lleva eventualmente a una reducción progresiva de la concentración de nutrientes y, por lo tanto, a una disminución considerable en el rendimiento de las plantas.

Alcanzar la máxima capacidad de producción de un sistema acuapónico requiere el mantenimiento de un balance apropiado entre la generación de residuos animales y la demanda de nutrientes de las plantas, a la vez que se asegure una adecuada área superficial para el crecimiento de las colonias bacterianas necesarias para la nitrificación. El monitoreo diario del estado de sanidad de los peces y de las plantas brindará la información necesaria sobre el balance en el sistema, ya que enfermedades, deficiencias nutricionales y/o mortalidades se traducen en síntomas de un sistema desbalanceado.

Si bien existen incontables variables que impactan en el balance del sistema, como la especie animal o vegetal cultivada, método de producción, capacidad, clima,

calidad de agua, etc.; resulta fundamental que una unidad acuapónica cuente con una determinada relación biomasa animal/cantidad de plantas del sistema, es decir, con una tasa de alimentación proporcionada respecto a la demanda de nutrientes por parte de los vegetales. Esta tasa de alimentación surge de la sumatoria de tres variables clave: la cantidad diaria de alimento suministrado a los peces (g/día), el tipo de plantas cultivadas (vegetales o frutales) y la superficie de cultivo de plantas (m²). En resumen, la tasa de alimentación sugiere la cantidad de alimento de pez suministrado cada día por metro cuadrado de espacio de cultivo y, de acuerdo a la literatura analizada, los heurísticos propuestos son de 40-50 g/m².día para el cultivo de plantas de hojas verdes, y de 50-80 g/m².día para plantas frutales (Somerville, 2014).

Con la información proporcionada por la tasa de alimentación, es posible calcular la cantidad de biomasa animal del sistema basado en la alimentación diaria promedio. Complementariamente, los especialistas recomiendan chequear asiduamente la salud de los animales del sistema en busca de signos de estrés, señal que delata niveles tóxicos de amoníaco y/o nitritos en la unidad. Para ello resulta de suma utilidad realizar mediciones del nivel de nitrógeno en el agua (en el mercado se pueden encontrar kits de medición muy sencillos y económicos). Al igual que en RAS, valores de amoníaco mayores a 1 mg/l indican que la biofiltración es insuficiente, ya que la mayoría de los peces no toleran estos niveles por más de unos pocos días, y que el área superficial del biofiltro debe ser incrementada. Si los niveles de nitratos se mantienen por encima de los 150 mg/l por un periodo de tiempo prolongado (varias semanas), se debe retirar parte del agua del sistema y si, por el contrario, esta concentración se mantiene por debajo

de los 10 mg/l por varias semanas, se debería aumentar la tasa de alimentación de forma de asegurar suficientes nutrientes para los vegetales o retirar parte del cultivo.

7.2.3 Calidad de agua en sistemas de recirculación

Tanto en RAS como en acuaponía, el agua representa la sangre vital del sistema, el medio por el cual los peces reciben oxígeno y las plantas los nutrientes necesarios para su crecimiento. La calidad del agua es definida por cinco parámetros principales: alcalinidad, concentración de compuestos nitrogenados, oxígeno disuelto (OD), pH y temperatura. Siendo los dos últimos especialmente importantes para el mantenimiento del sistema acuapónico. En la siguiente tabla se detallan los valores de estos parámetros críticos para los organismos intervinientes en cualquier tipo de sistema de recirculación cerrado y se hace hincapié en los valores óptimos para acuaponía de acuerdo.

Tabla 4: Parámetros de calidad de agua para peces de agua cálida y fría, plantas, bacterias nitrificantes y para el sistema acuapónico

Organismo	Temperatura (°C)	pH	Amoniaco (mg/l)	Nitrito (mg/l)	Nitrato (mg/l)	OD (mg/l)
Peces de agua fría	10-18	6-8,5	< 1	< 0,1	< 400	6-8
Peces de agua cálida	22-32	6-8,5	< 3	< 1	< 400	4-6
Bacterias nitrificantes	14-34	6-8,5	< 3	< 1	-	4-8
Plantas	16-30	5,5-7,5	< 30	< 1	-	> 3
Acuaponía	18-30	6-7	< 1	< 1	5-150	> 5

7.2.3.1 Temperatura

La temperatura del agua afecta todos los aspectos del sistema acuapónico. Si bien mayores temperaturas propician la tasa de crecimiento de los peces, también

generan una menor concentración de OD y más amoníaco no ionizado, restringiendo además la absorción de calcio en las plantas. Es por ello que la combinación de peces y plantas debe ser seleccionada de forma tal de alcanzar un cierto grado de armonía con respecto a sus temperaturas óptimas de crecimiento y a la temperatura ambiental del establecimiento, ya que realizar cambios de temperatura del agua puede ser muy costoso, tanto por inversión en equipos como en demanda de energía.

Por otra parte, los sistemas logran mayor productividad si las variaciones térmicas entre día y noche son mínimas. Por lo tanto, en ambientes que presenten amplias variaciones térmicas durante el día se recomienda utilizar algún tipo de aislación como, por ejemplo, invernaderos.

7.2.3.2 pH

El pH es un parámetro clave en cualquier sistema acuícola ya que influye directamente en el proceso de nitrificación (Ver Anexo III) afectando el crecimiento de las bacterias nitrificantes y la salud de los peces. Pero también en el caso de la acuaponía interviene en la disponibilidad de nutrientes que requieren las plantas para su crecimiento, con lo cual se crea una solución de compromiso a la hora de seleccionar el rango de pH que permita mantener a las bacterias funcionando a máxima capacidad a la vez que las plantas puedan acceder a los micro y macronutrientes esenciales para su crecimiento. Según la Tabla 4, un pH levemente ácido, entre 6 y 7, es ideal para la acuaponía, mientras que valores menores a 5 o mayores a 8 pueden convertirse en un problema crítico para todo el ecosistema.

7.2.3.3 Alcalinidad y dureza del agua

Existen dos tipos básicos de dureza del agua: la dureza general (DG) y la dureza de carbonatos (DC). La primera es una medida de los iones positivos en el agua y no afecta significativamente al sistema acuícola, mientras que la segunda, también llamada alcalinidad, es una medida de la capacidad de buffer del agua y tiene una relación directa con el valor de pH.

La DG es esencialmente la cantidad de iones calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}) y, en menor medida hierro (Fe^{+}) presentes en el agua. Si estos se encuentran en una concentración (>180 mg/l) el agua pasa a catalogarse como dura. El agua dura puede ser una fuente útil de micronutrientes para el sistema acuapónico y no tiene efectos en la salud de los organismos. De hecho, la presencia de calcio puede prevenir la pérdida de otras sales en los peces y, tanto los iones Ca^{+2} como Mg^{+2} son nutrientes clave de las plantas y son absorbidos por ellas cuando el flujo de agua atraviesa la unidad hidropónica.

Por otro lado, la DC es la cantidad total de carbonatos (CO_3^{-2}) y bicarbonatos (HCO_3) disueltos en agua. En general, valores de DC en agua de 121-180 mg/l se consideran elevados (Somerville, 2014). Como se ha mencionado, la DC actúa como buffer amortiguando las disminuciones bruscas del pH del agua que afectan a todo el ecosistema acuapónico. Mientras más alta sea la concentración de DC en el agua, mayor será la duración del efecto buffer en el sistema, permitiendo mantenerlo estable contra la acidificación causada por el ácido nítrico (HNO_3) producido por el proceso de nitrificación. Es por esta razón que resulta de suma importancia que en todo momento haya cierta concentración de alcalinidad en el

agua de forma de neutralizar los ácidos generados naturalmente y mantener el pH constante.

Los niveles óptimos para ambos tipos de dureza en sistemas acuapónicos son de 60mg/l y 140 mg/l (Somerville, 2014), valores que se encuentran en aguas moderadamente duras.

7.2.3.4 Oxígeno disuelto

El oxígeno es fundamental para todo el ecosistema acuícola ya que los peces podrían morir en horas si la concentración de oxígeno disuelto en agua es demasiado baja. A pesar de la importancia de este parámetro, medirlo de forma precisa y constante puede ser un trabajo desafiante, con lo cual, en la mayoría de los casos se suele monitorear de forma indirecta a través del control del comportamiento de los peces y el crecimiento de las plantas.

Resulta primordial asegurar la recirculación del agua y la aireación, ya que estos son aspectos críticos de cualquier sistema acuapónico. Esto es especialmente importante en climas cálidos debido a que la solubilidad del oxígeno en agua es inversamente proporcional a la temperatura del agua (Fig. 33), es decir a mayores temperaturas, menor solubilidad del oxígeno en agua. Por esta razón, también es importante evitar las fluctuaciones térmicas tanto como sea posible, a fin de mantener la concentración de oxígeno disuelto en niveles estables.

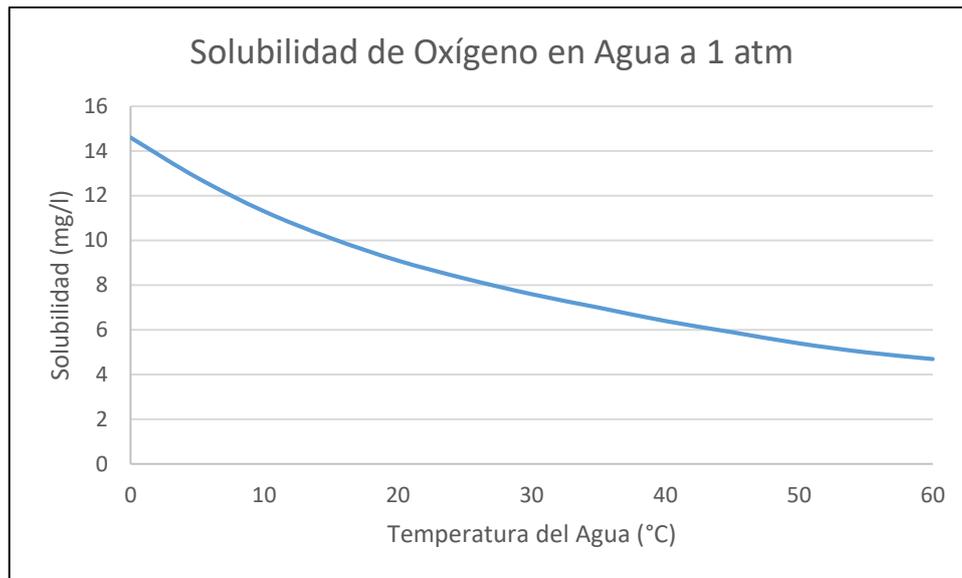


Fig. 33: Solubilidad del oxígeno en agua a diferentes temperaturas a 1 atm

7.2.3.5 Compuestos nitrogenados

Como se ha mencionado en 7.1, la concentración de compuestos nitrogenados, principalmente de amoníaco no ionizado, afecta directamente al proceso de nitrificación y la salud de los peces. En acuaponía, además, las tres especies nitrogenadas presentes en el sistema son utilizadas por las plantas, siendo el ion nitrato el más accesible de todos ellos.

En el Anexo III se haya un resumen con los impactos en la salud de los animales, relacionados a elevadas concentraciones de compuestos nitrogenados.

7.2.3.6 Otros parámetros

La salinidad es otra variable relevante que se debe tener en cuenta para mantener un ecosistema saludable. Esta es determinada como una medida de la conductividad de los iones presentes en el agua, la cual da una idea de la concentración de nutrientes disueltos en forma de sales, incluyendo

fundamentalmente la sal de mesa (NaCl), cuyo valor elevado ($> 1500 \mu\text{S}/\text{cm}$) puede afectar negativamente a la producción de vegetales.

Con el transcurso del tiempo, pueden aparecer otros organismos en el sistema, algunos de los cuales contribuyen a la buena salud del ecosistema, por ejemplo, las lombrices pueden ayudar a descomponer la materia orgánica. Por el contrario, los parásitos y las bacterias dañinas representan una amenaza y, si bien son imposibles de evitar completamente, su proliferación debe ser prevenida. El sistema acuapónico no es un ambiente estéril, pero haciendo uso de las mejores prácticas de gestión, favoreciendo condiciones altamente aeróbicas y disponibilidad de nutrientes, es posible prevenir que esta pequeña amenaza se transforme en una peligrosa infestación que afecte a la salud de los peces y plantas.

Por último, se deberá tener en cuenta el posible desarrollo de algas indeseables dentro del sistema. Estas compiten por los nutrientes de los vegetales del sistema y además interfieren en el proceso de asimilación de nutrientes de las plantas. Suelen representar también, un problema debido a su actividad fotosintética, al producir fluctuaciones en el oxígeno disuelto y generar disminución en la eficiencia de las bombas utilizadas por obstrucción del flujo de agua. Para su control efectivo, es recomendable evitar la exposición del agua del sistema a la luz solar.

7.2.4 El proceso de mineralización

El proceso de mineralización consiste en la metabolización de los residuos sólidos en nutrientes para las plantas. Este proceso es llevado a cabo por microorganismos que se encuentran en el sistema, mayormente bacterias heterótrofas, que consumen el carbono orgánico de los residuos sólidos que se hallan en filtros,

biofiltros, cañerías, etc., dejando disponibles micronutrientes (como Calcio, Cloro, Hierro, Manganeso, Zinc, etc.) esenciales para el crecimiento de las plantas. A mayor tiempo de retención de los residuos sólidos dentro del sistema, mayor será el proceso de mineralización y, por ende, más cantidad de micronutrientes estarán disponibles para las plantas. Sin embargo, ante un manejo deficiente, estos mismos sólidos tenderán a acumularse y bloquear el flujo de agua, provocando un aumento en el consumo de la cantidad de oxígeno y dando lugar a la generación de condiciones de anoxia que, a su vez, podría aumentar la concentración de sulfuro de hidrogeno y la velocidad del proceso de desnitrificación. Por lo tanto, es fundamental mantener un equilibrio respecto a la cantidad de solidos del sistema de forma tal de no producir los efectos descritos anteriormente y tampoco causar deficiencias de nutrientes en las plantas.

Tanto macronutrientes como micronutrientes deben estar correctamente balanceados para que los vegetales del sistema puedan crecer correctamente. Los residuos sólidos del sistema, a través del proceso de mineralización, proporcionan a las plantas cantidades suficientes de micronutrientes los cuales se complementan junto con los nutrientes suministrados por medio del alimento balanceado de los peces. Lamentablemente, la solubilidad de algunos de estos compuestos se ve comprometida por las condiciones de acidez y temperatura del agua, dejándolos no disponibles para las plantas. Sumado a esto, un proceso deficiente de mineralización puede causar que muchos compuestos se encuentren en estados de oxidación no asimilables o, incluso, que se genere un exceso de algunos nutrientes específicos que interfieran en la disponibilidad de otros. Por esta razón se debe considerar la posibilidad de suplementar al sistema con algunos micronutrientes

esenciales como el hierro, calcio y fosforo, de manera de evitar deficiencias en el crecimiento de la zona vegetal.

7.2.5 Unidades acuapónicas

Existen tres modelos acuapónicos básicos de producción que están constituidos por un sistema de recirculación cerrada tipo RAS, anexionado a una unidad hidropónica que difiere en su forma de cultivo (Fig. 34). Los tres diseños se denominan: Técnica de lechos de sustratos (o de lechos particulares o individuales), técnica del film nutritivo (NFT, por sus siglas en inglés) y técnica de cultivo en aguas profundas (DWC, por sus siglas en inglés), también conocida por el nombre de cultivo en balsas flotantes. Cada método presenta sus ventajas y desventajas, y son indicadas en función del supuesto productivo, la escala y el tipo plantas y peces que se deseen cultivar.

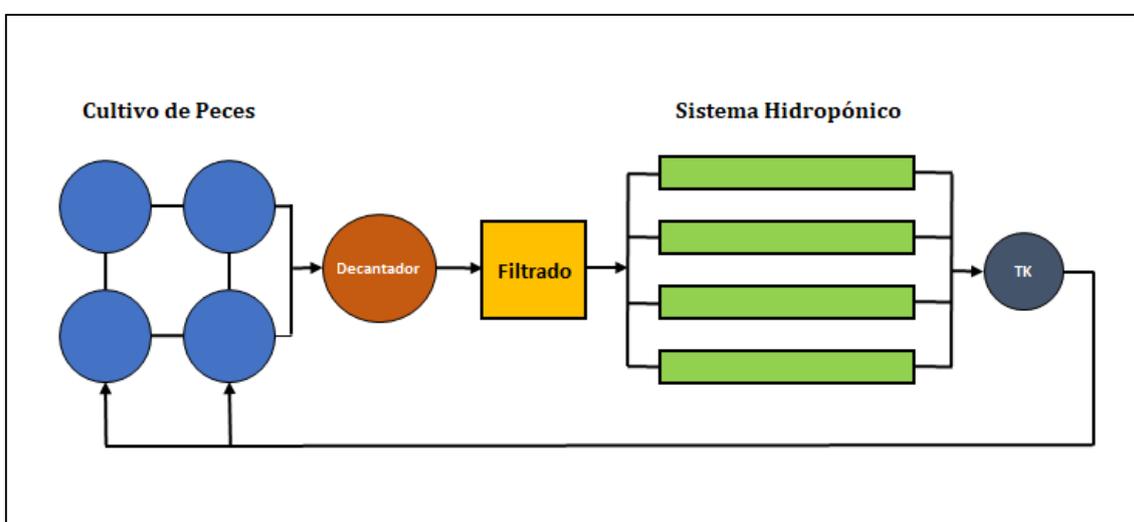


Fig. 34: Esquema básico de un sistema acuapónico

Como se ha mencionado, cada uno de estos métodos parte de la base de un RAS, con lo cual los componentes básicos que conforman al sistema acuapónico son, en principio, los mismos que en RAS: tanques de cultivo, aireadores, bombas, cañerías

y filtros (tanto mecánico como biológico) forman parte de la batería de equipos necesarios para operar un sistema saludable. Aun así, se verá que, en ciertas condiciones, los modelos acuapónicos pueden obviar etapas de filtración y bombeo, y optimizar el espacio físico construyendo un sistema más compacto y eficiente.

A continuación, se ahondará en los principios de funcionamiento de estos tres modelos y se señalarán ventajas, desventajas y aplicabilidad de los mismos. Finalmente se realizará una comparación entre los modelos acuapónicos y un sistema RAS convencional.

7.2.5.1 Técnica de lechos de sustratos

Esta técnica es ideal para iniciarse en la acuaponía de baja escala ya que es simple de aplicar, permite optimizar el espacio físico y el costo de inversión inicial es relativamente bajo. Con este diseño, el medio utilizado cumple una doble función. Por un lado, brinda soporte a las raíces de las plantas y, por otra parte, funciona como filtro mecánico y biológico, razón por la cual este método de cultivo acuapónico resulta más simple de implementar. Combinar la biofiltración con la hidroponía es una de las mayores ventajas de la acuaponía, al eliminar el costo del biofiltro con el que debe contar obligatoriamente un RAS convencional. No obstante, si se desea llevar esta técnica a gran escala, puede resultar en un sistema excesivamente costoso y complicado de operar, requiriendo etapas de filtración adicionales.

En la Fig. 35 se observa el sistema básico de un lecho de sustratos. En ella, el flujo de agua se mueve por gravedad desde el tanque de cultivo de peces hasta los

lechos, atravesando previamente un filtro mecánico sencillo de carácter opcional. Los lechos de sustrato están completamente cubiertos de poros que propician un ambiente ideal para hospedar bacterias nitrificantes, lo que mejora notablemente la biofiltración y permite prescindir de un filtro biológico externo. Al salir de los lechos, el agua prácticamente libre de sólidos fluye aguas abajo hacia un tanque de depósito para luego ser bombeado de regreso hacia el tanque que alberga los peces.



Fig. 35: Diseño básico de un sistema de lechos de sustratos (Somerville, 2014)

Es importante que los lechos sean suficientemente fuertes para soportar el contenido de agua y plantas, así como también condiciones climáticas adversas. Además, estos deben ser fácilmente adaptables, facilitando la instalación de cañerías y otros equipos a la vez que aseguren el crecimiento satisfactorio de peces, plantas y bacterias. Usualmente se utilizan materiales plásticos, de fibra de vidrio, madera o incluso contenedores tipo IBC (Intermediate Bulk Container) que no hayan sido previamente utilizados para contener químicos especiales. Los lechos suelen ser rectangulares de 3m² por 20 a 30 cm de profundidad, espacio suficiente para permitir el crecimiento de las raíces de las plantas. Con respecto al

tipo de sustrato a seleccionar, este debe poseer una serie de características especiales entre las que se destacan el área superficial y la permeabilidad al agua y al aire, de manera de permitir el crecimiento de las bacterias y el flujo de agua y aire. Este también debe ser inerte, no tóxico y de pH neutro para no afectar la calidad del agua. Por último, los materiales seleccionados deben ser livianos, fáciles de manipular y de bajo costo. En la Fig. 36 se puede observar un lecho de sustrato operativo.



Fig. 36: Lecho de sustrato de una unidad hidropónica

La grava volcánica y la arcilla expandida ligera (LECA, por sus siglas en inglés) cumplen con todas las condiciones requeridas antes mencionadas. Sin embargo, no se encuentran disponibles en todos los mercados y, especialmente en el caso del LECA, no representan materiales muy económicos. También es posible utilizar plástico reciclado, grava y piedra caliza que, a pesar de tener baja área superficial y ser un material pesado y activo, es comúnmente utilizado como sustrato en estos sistemas.

7.2.5.2 Técnica del film nutritivo (NFT)

La técnica del film nutritivo es un método de cultivo acuapónico que utiliza cañerías horizontales, generalmente hechas de plástico, a modo de canaletas por las que fluye una fina corriente de agua rica en nutrientes. Las plantas son colocadas dentro de ranuras o huecos realizados en las cañerías manteniendo sus raíces constantemente en contacto con la solución nutritiva. La NFT es la técnica más popularizada en acuaponía a escala comercial debido a su practicidad y su viabilidad económica respecto a la técnica de lechos de sustratos. No obstante, la NFT es mucho más compleja y costosa de operar y puede no ser apropiada en lugares aislados con poco acceso a proveedores y clientes, por lo que se recomienda principalmente para aplicaciones urbanas, teniendo la posibilidad de realizar arreglos verticales de la zona hidropónica (Ver Fig. 37).

En este tipo de diseños, el flujo de agua se mueve por gravedad desde el tanque de peces a través del sistema de filtrado hacia el tanque de depósito. Desde allí, el agua es bombeada en dos direcciones por medio de una conexión en “Y” retornando una corriente hacia el tanque de cultivo y distribuyendo la otra por las cañerías ranuradas que soportan al sistema hidropónico. El flujo de agua que ingresa a este último sector es dividido proporcionalmente en pequeñas corrientes concentradas en nutrientes que conforman el “film nutritivo”, cuya finalidad es asegurar a las plantas grandes cantidades de oxígeno, humedad y nutrientes. Al salir de las cañerías, el flujo de agua retorna al tanque de depósito donde nuevamente es dividido y bombeado al cultivo de peces y plantas. Por lo general, un 80% del agua bombeada regresa al tanque de cultivo de peces y el 20% restante se dirige hacia la zona de cultivo vegetal.



Fig. 37: Arreglo vertical de la zona hidropónica

Como se puede apreciar en la Fig. 38, este diseño asegura que el agua filtrada ingrese tanto al tanque contenedor de peces como a las cañerías ranuradas donde se encuentran las plantas utilizando una única bomba y, de esta forma se optimiza el uso de energía y de agua. Uno de los mayores inconvenientes de esta técnica radica en que el tanque de depósito, que suele funcionar también como biofiltro, diluye la concentración de nutrientes del agua que llega a la unidad hidropónica y, al mismo tiempo, esta corriente de agua regresa al tanque de cultivo de peces antes de que los nutrientes hayan sido completamente absorbidos.

Este sistema es indicado para plantas denominadas “de hojas verdes” que no requieren de mucho sostén ya que las plantas con raíces de mayor tamaño pueden obstruir las cañerías y causar pérdidas significativas de agua. A su vez, es el método que utiliza el menor volumen de agua (aproximadamente un 25% del volumen de aguas profundas, y un 50% de lechos de sustratos) (Candarle, 2016), por lo que es el más propenso a fluctuaciones térmicas y otras variables como el pH. Factores que se deben considerar a la hora de diseñar un sistema NFT.

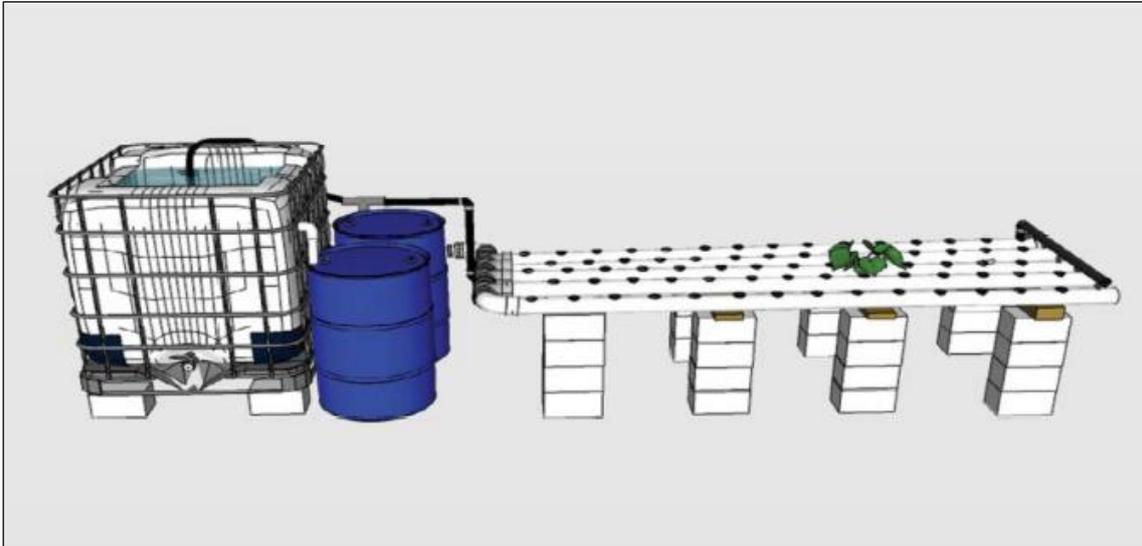


Fig. 38: Diseño básico de un sistema NFT (Somerville, 2014)

Si bien las cañerías que se encuentran usualmente en el mercado son de tipo cilíndricas, en la bibliografía consultada por el autor se recomienda utilizar secciones rectangulares debido a que, de esta manera, una mayor cantidad de film nutritivo llega a las raíces de las plantas propiciando la absorción de nutrientes y el crecimiento de las mismas. Más allá de esta recomendación, el operador puede decidir entre varios arreglos de cañerías distintos en función de sus deseos o limitaciones.

En cuanto a dimensiones, el tamaño de las cañerías a utilizar dependerá del tipo de planta que se desee cultivar. Las plantas de hojas verdes, con menor cantidad de raíces no requieren de mucho espacio para su crecimiento por lo que se puede optar por cañerías de menor tamaño. Por el contrario, las plantas frutales con raíces más robustas necesitarán cañerías de mayor tamaño para albergarlas y permitir un flujo constante de 1 a 2 l/min de agua. El largo de las cañerías puede variar entre 1 a 12 m y se debe dejar una leve pendiente para permitir el flujo por gravedad. Longitudes mayores pueden causar deficiencias de nutrientes en las

plantas que se encuentren en el último extremo del sistema ya que las plantas al inicio pueden absorber gran parte de los mismos.

A diferencia de la técnica de lechos de sustratos, las unidades NFT (al igual que las DWC) requieren de filtración dedicada. Si la filtración es insuficiente, el sistema se puede obstruir y generar, con el tiempo, un ambiente carente de oxígeno perjudicial para el crecimiento de plantas y peces. Es por esta razón que en instalaciones acuapónicas del tipo NFT o DWC se requiere de mayor cantidad de equipos, más espacio físico y, por lo tanto, se obtendrá un sistema menos compacto y más costoso, pero al mismo tiempo el rendimiento a escala comercial es mayor y su operatividad puede resultar más sencilla.

7.2.5.3 Técnica de cultivo en aguas profundas (DWC)

Esta técnica, al igual que la NFT, es de las más populares en acuaponía a escala comercial y se caracteriza por mantener a las plantas suspendidas en planchas de poliestireno o “balsas” perforadas sobre un reservorio lleno de agua (Ver Fig. 39).



Fig. 39: Balsas de una unidad hidropónica de un sistema DWC

La dinámica de estos sistemas es prácticamente idéntica al de los NFT con la diferencia que parte del flujo que es dividido se transfiere a una serie de canales largos y profundos o piletas tipo “raceways” que soportan a los vegetales por medio de balsas, exponiendo las raíces al agua rica en nutrientes del sistema. Al igual que con la técnica NFT, el agua fluye a través de un filtro mecánico y biológico previo a ser bombeado al tanque de cultivo de peces y a los canales hidropónicos (Fig. 40).

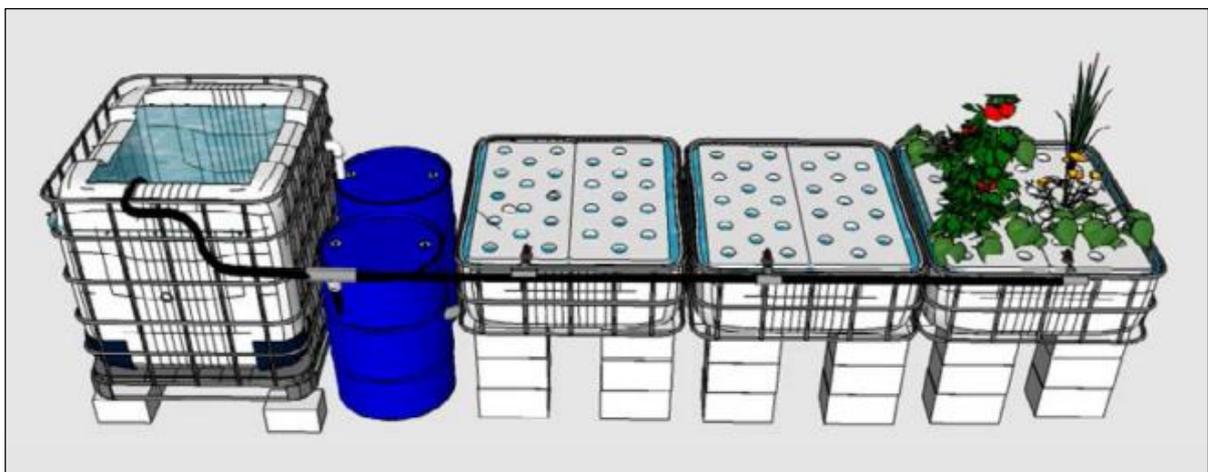


Fig. 40: Diseño básico de un sistema DWC (Somerville, 2014)

En estos sistemas la gran masa de agua brinda una mejor calidad de agua en general y mantiene cierta estabilidad térmica. Además, a diferencia de las unidades NFT en donde los nutrientes se encuentran en una pequeña capa de agua y son absorbidos rápidamente por las plantas, en los DWC el agua se encuentra en canales profundos (30 cm o más) que proveen de forma constante cantidades considerables de nutrientes a las plantas. También permiten una carga de peces relativamente alta, con lo cual sus rendimientos económicos son mejores en comparación a otros métodos acuapónicos.

Otra ventaja importante de este método es que a través del sistema de canales se evita el contacto directo entre la corriente de agua y las plantas, lo que reduce el riesgo de propagar enfermedades entre las plantas. Como requisito fundamental, se debe contar con buena oxigenación en las unidades hidropónicas lo que requiere del funcionamiento continuo de aireadores en toda la zona. También debe dejarse un pequeño espacio de entre 3 a 4 cm entre la plancha de poliestireno y el cuerpo de agua para permitir el flujo de aire por el canal. Por otra parte, también es posible cultivar pequeñas cantidades de peces en las unidades hidropónicas pero el operador debe asegurarse de no introducir especies herbívoras que pudieran comer las raíces de los vegetales, como las carpas o tilapias.

Con respecto a las dimensiones, diferente bibliografía recomienda canales no mayores a 10 m de longitud y contar con al menos 30 cm de profundidad. Los canales angostos y largos resultan en flujos de agua más rápidos y turbulentos y, por lo tanto, mayores cantidades de nutrientes alcanzan de forma equitativa a todas las raíces de las plantas. Por el contrario, un flujo de agua lento o el agua casi estancada tiene un impacto negativo en el crecimiento de las plantas.

7.2.6 Comparación de tecnologías

En la Tabla 5 se realiza una comparación cualitativa entre las técnicas acuapónicas y un sistema RAS convencional, teniendo en cuenta costos de inversión, complejidad operativa y consumo de recursos.

Tabla 5: Comparación de tecnologías acuícolas

Tecnología	RAS	LS	NFT	DWC
Inversión	★★★	★★★★★	★★★	★★★
Costo operativo	★★★	★★★★	★★	★★
Rendimiento	★★★★★	★★	★★★	★★★★
Complejidad de operación	★★★	★★	★	★
Versatilidad de diseño	★★★	★★	★★★	★★★★
Versatilidad de producción	★★★	★★	★★	★★★★
Eficiencia agua	★★	★★★★★	★★★	★★★
Eficiencia energía	★★	★★★★★	★★★★	★★★
Eficiencia suelo	★★	★★★★★	★★★★	★★★
Vulnerabilidad	★★★★	★★★	★★	★★
Mayores ventajas	<p>Sistema ideal para el cultivo intensivo de peces, logrando altos rendimientos. Pueden ser instalados prácticamente en cualquier ambiente y se puede cultivar casi cualquier especie acuática. Son sistemas más simples de operar que los acuapónicos.</p>	<p>Sus consumos de agua y energía son los más bajos de todos. Es simple de aplicar, ocupa poco espacio físico y la inversión inicial es baja ya que no requiere de filtros mecánicos y biológicos.</p>	<p>Se pueden operar a mayor escala, siendo viables económicamente. Son especialmente recomendados para aplicaciones urbanas y sitios con poco espacio físico. Son versátiles y permiten una amplia gama de arreglos.</p>	<p>Es posible cultivar vegetales frutales y de mayor tamaño. Es el método que mejor se adapta a escala comercial. En ciertas ocasiones se puede obviar el uso de biofiltros y se mantiene de forma más sencilla la calidad de agua.</p>
Mayores desventajas	<p>Solo cuenta con la unidad acuícola. Sus consumos de agua y energía son mayores a los de cualquier sistema acuapónico. Requiere obligatoriamente de un biofiltro robusto y de una o más etapas de filtración mecánica.</p>	<p>No se recomienda para plantas frutales ni para grandes volúmenes de peces. Solo resulta aplicable a escala piloto o en la producción de lotes pequeños.</p>	<p>Solo indicado para plantas de hojas verdes. Su costo y complejidad es mayor al LS. Deben estar cerca de proveedores y clientes para lograr cierta rentabilidad. Necesitan filtros mecánicos y biológicos para operar.</p>	<p>Requieren aireación constante y mayor espacio físico. La inversión inicial puede ser muy elevada y el gasto de energía eléctrica es mayor que en otros sistemas acuapónicos debido a los aireadores y a las mayores velocidades de flujo de agua.</p>

7.3 Comentarios finales

La tecnología para producción de organismos acuáticos en sistemas de recirculación cerrada con tratamiento y reutilización del agua ya es una realidad en diversos países y la bibliografía técnica y científica del sector se encuentra disponible, de manera tal que la instalación, puesta en marcha y optimización de los equipos se puede lograr sin grandes costos de asesoramiento.

Un paso adelante en la búsqueda de una acuicultura más sustentable se encuentra la acuaponía, la cual combina el cultivo de peces con vegetales y reduce al mínimo el consumo de recursos. Económicamente, la aplicación de las diferentes técnicas acuapónicas requiere de un considerable capital inicial, pero una vez en funcionamiento, sus costos operativos se reducen significativamente y la rentabilidad teórica que se puede obtener es elevada debido a la venta no solo de pescado de excelente calidad sino también a la de los vegetales cultivados. Desde la perspectiva ambiental, se previene la contaminación por el mal manejo de los efluentes líquidos y, al mismo tiempo, reduce los consumos de agua y energía. Por sus características intrínsecas la acuaponía no depende de productos químicos para ser utilizados como fertilizantes o para el control de plagas o hierbas, con lo cual el alimento final no contendrá ninguna traza de residuo químico en su sistema. Si se considera la variable social, la acuaponía puede ser aplicada a escala local, representando una fuente de trabajo genuino que contribuye a fortalecer las economías regionales y a mejorar la calidad de vida de las personas. Más allá de la amplia variedad de aspectos positivos con los que cuenta esta actividad, las técnicas acuapónicas pueden ser muy complicadas de aplicar y requieren, generalmente, de dedicación exclusiva por parte del productor y de un

conocimiento holístico de la gestión del sistema. Adicionalmente, el sistema es aún más costoso de instalar que un RAS convencional ya que se debe tener en cuenta el montaje de la unidad hidropónica.

Si bien la Argentina no está a la vanguardia de la producción acuícola y mucho menos del RAS o de la aplicación de técnicas acuapónicas, existen diversos emprendimientos en el país que dan cuenta del avance de estas tecnologías sobre las prácticas tradicionales de cultivo de peces. A su vez, es esperable que, en pocos años con el mejoramiento de los diseños, los equipos, la tecnología de tratamiento de agua y las estrategias del manejo y cultivo posibiliten que estos sistemas sean implantados y operados a un menor costo, lo que a su vez incidirá en la rentabilidad ya que se podrá producir organismos acuáticos a un precio compatible con el obtenido en otros sistemas de cultivo. De esta manera se favorecerá gradualmente el reemplazo de sistemas antiguos y poco sustentables de producción por estos sistemas de mayor eficacia.

8. Propuesta de Gestión

Este capítulo tiene como objetivo presentar una propuesta de gestión ambiental para el caso hipotético de instalación de un proyecto acuícola de mediana envergadura en la región del AMBA. Durante este proceso se hará uso de diferentes herramientas de gestión y de evaluación de impacto ambiental, teniendo en cuenta normativa local aplicable y buenas prácticas de manufactura en acuicultura.

La propuesta no pretende ser un estudio de factibilidad económica del proyecto, sino evaluar la posibilidad de establecer este tipo de emprendimientos aplicando una serie de herramientas de gestión ambiental para mejorar el desempeño del establecimiento. Asimismo, los valores fijados y conclusiones cuantitativas son de carácter orientativo y cumplen el objetivo de brindar un marco de referencia al proyecto.

8.1 El proyecto acuícola

8.1.1 Descripción del proyecto

El proyecto abarca la construcción y operación de un establecimiento de producción acuícola que estará fundamentado en las características biológicas de la especie a cultivar y, a partir de ello, se planteará un diseño de granja integrado haciendo uso de herramientas de gestión ambiental. Teniendo esto en cuenta se establece que el proyecto constará de seis unidades productivas de trucha arcoíris de 80 t/año cada una. El sistema estará compuesto por cinco sectores:

- Área de cría

- Depósito de materias primas e insumos
- Área de procesado y disposición de producto
- Planta de tratamiento de efluentes
- Área de oficinas

El proyecto estará dividido en dos etapas o tramos. La primera de ellas involucrará la preparación del terreno, el traslado de materiales de construcción y la obra de infraestructura de depósitos y del sector administrativo, mientras que la segunda etapa consistirá en la construcción del sistema productivo incluyendo la instalación de los equipos de tratamiento de efluentes. El depósito de materias primas contará con 5 m de altura y ocupará una superficie de 200 m², a la vez que el área de procesado y depósito de producto terminado tendrá una superficie de 300 m² y dos plantas de 3 m cada una. Por otra parte, el edificio de oficinas también alcanzará una altura de 3 m y abarcará un área de 120 m². Todas las edificaciones estarán constituidas por estructuras de acero y paredes de ladrillo y hormigón teniendo en cuenta el código de edificación de la localidad y a las normas de seguridad e higiene en el trabajo vigentes.

En función de la capacidad de carga (estimada en 120 kg/m³) se determina que el sector de cría estará conformado por seis piletas circulares de fibra de vidrio reforzado de 2,20 m de profundidad y 6,40 m de diámetro, las cuales ocuparán una superficie total aproximada de 200 m². Las piletas estarán conectadas entre sí y de manera independiente a un decantador/sedimentador circular de 15 m de diámetro y 4 m de profundidad, para el tratamiento primario del efluente líquido. Posteriormente se instalarán equipos de filtrado mecánico y biológico y un tanque de depósito de 150 m³. Para el desplazamiento del fluido, se utilizarán bombas

centrifugas conectadas en serie, más bombas adicionales de back up en paralelo. Todas las conexiones se realizarán con material de PVC de entre 2 a 6" y válvulas del tipo exclusiva y esféricas. A su vez, el proyecto contará con dos piletas de alevinaje de menor tamaño y de iguales características a las mencionadas anteriormente.

Se estima que la finalización del proyecto demandará **18 meses** de acuerdo al cronograma establecido en el punto 8.1.7.

8.1.2 Tecnología a utilizar

Para la operación del establecimiento acuícola se seleccionó la tecnología de recirculación cerrada con tratamiento de agua (RAS), cuyo sistema contará con los siguientes equipos fundamentales:

- Tanques de cría y almacenamiento.
- Decantador circular con mecanismo de barrido de fondo.
- Filtros de arena a presión con sistema de bombeo incorporado.
- Fraccionador de espuma.
- Biofiltros de relleno plástico dispuestos al azar.
- Instalación de sistema de desinfección por rayos UV.
- Aireadores de burbuja fina para la oxigenación del agua recirculada.

8.1.3 Localización

Por la naturaleza de este trabajo, no se puntualiza en una localidad determinada, sino que se generaliza a la región del AMBA como lugar de establecimiento de la instalación acuícolas teniendo en cuenta la legislación de la provincia de Buenos

Aires, la calidad de los recursos, el clima de la región y la cercanía al mercado consumidor. Por otra parte, se prevé la instalación del proyecto en una zona rural o residencial mixta, de acuerdo a la categorización industrial establecida en la ley 11.459 decreto 531/19, con acceso a servicios de luz y gas natural. Se considera que el desarrollo del proyecto y su operación posterior no producirán un impacto significativo a la población circundante, aunque esto habrá que determinarlo posteriormente en el apartado 8.4.

8.1.4 Superficie del terreno, superficie cubierta existente y proyectada

El predio seleccionado se ubica al sudeste de la población a unos 500 m en línea recta de la vivienda más próxima. Para la construcción del proyecto tendrá una superficie de 4000 m², de los cuales se estima que el 50% estará cubierta por la edificación e infraestructura de planta de los distintos sectores. Para el cálculo de la superficie afectada no se han tenido en cuenta ni la construcción de obras secundarias de ingreso al predio ni las calles para la circulación de maquinaria, transporte y personal.

8.1.5 Necesidades de infraestructura y equipamiento

El poblado cuenta con todos los servicios públicos requeridos por una población de su magnitud: electricidad, red de gas natural, comunicaciones, recolección de residuos urbanos, transporte, accesos, escuelas, centros de salud, etc.

El proyecto tiene previsto una serie de obras complementarias entre las que se hallan el mejoramiento y pavimentación de calles aledañas, la instalación de luminarias en el recinto agroindustrial y en su interior, el alambrado del perímetro, construcción de ingresos y egresos de planta, instalación de

invernaderos para el sector de cría y obras hidráulicas. El alcantarillado contará con capacidad equivalente a las condiciones de lluvias máximas registradas para conducir el caudal de escurrimiento y el efluente líquido de descarga hacia los cursos superficiales de manera de no producir anegamientos.

En la etapa constructiva se requerirá de maquinaria para las tareas de movimientos y despeje del suelo, nivelación, construcción de infraestructura y grupos electrógenos como soporte algunas operaciones aisladas. En esta etapa habrá circulación intensa de vehículos, maquinaria de construcción y personal de obra. En la etapa operativa se prevé la incorporación de máquinas agrícolas como tractores, camiones de transporte de producto e insumos y la instalación de un generador eléctrico diésel de 100 kW de potencia en caso de falta de suministro eléctrico

8.1.6 Etapas del proyecto

El proyecto contará con dos etapas: Construcción y Operación. En la primera etapa, las obras a realizar comprenderán trabajos de movimiento de suelos, nivelación, construcción de ingresos, alambrado e instalación de obrador, mientras que la segunda etapa, que iniciará en el 4º mes de proyecto, comenzarán las obras de infraestructura de depósitos, oficinas y planta, acoplándose luego a las obras secundarias, tales como caminos, canalización hidráulica, instalación de luminarias, etc. Finalmente, en el mes 15 se prevé la instalación de equipos y puesta en marcha de los mismos.

Tabla 6: Cronograma de tareas del proyecto

Acción/Duración	Meses																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Alambrado	■																	
Instalación de obrador	■																	
Limpieza del terreno	■	■																
Movimientos de suelo		■	■															
Nivelación				■														
Obras de infraestructura				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Obras secundarias											■	■	■	■	■	■		
Instalación de equipos																■	■	■
Desarme de obrador																	■	
Puesta en marcha de equipos																	■	■

En la etapa operativa se realizarán las actividades de mantenimiento necesarias para el correcto funcionamiento del establecimiento acuícola condiciones de servicio, así como también aquellas tareas propias de la operación de las instalaciones. Entre ellas se destacan:

- Mantenimiento preventivo de equipos
- Recepción de materias primas e insumos
- Alimentación y cuidado de los animales
- Mediciones fisicoquímicas del agua
- Manipuleo de productos químicos
- Manipulación de efluentes líquidos

- Procesado de producto
- Tareas de limpieza

8.1.7 Objetivos y beneficios socioeconómicos

En base a lo presentado en los puntos anteriores, se espera que se alcance una producción anual de 480 t de trucha arcoíris para proveer a establecimientos gastronómicos y grandes cadenas de retail del AMBA. También se prevé la expansión del emprendimiento debido a la exportación de productos.

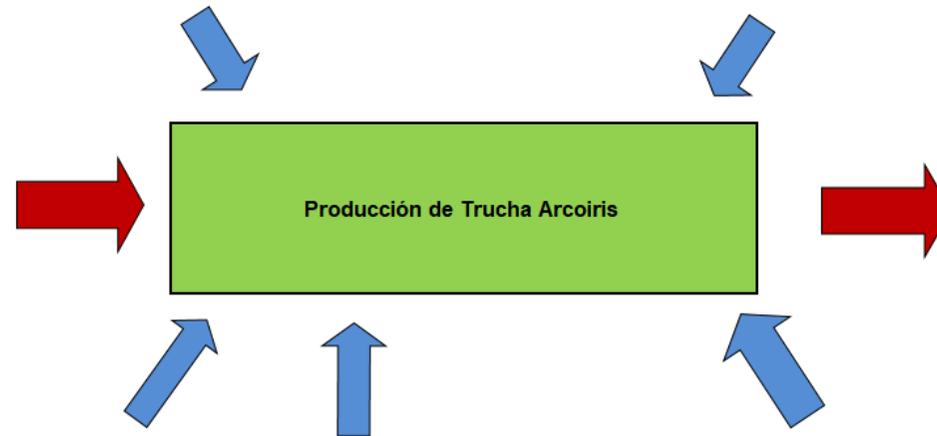
Durante la etapa de construcción, se generarán 20 puestos de trabajo directo y otros 50 puestos indirectos por tareas específicas de la obra. Se considera que la operación de la planta, las tareas de mantenimiento y administrativas emplearán a 50 personas de forma permanente.

El desarrollo de las funciones operativas de planta requerirá de empleados calificados, con lo cual se prevé la contratación de especialistas en tratamiento de efluentes y manejo de plantas acuícolas y la futura capacitación de otros empleados. En concordancia con este último punto, existe la posibilidad de ampliación del proyecto a futuro con el objetivo constituir un centro educativo y de formación acuícola para mejorar el conocimiento técnico acuícola y proveer a la comunidad local de mayores posibilidades de desarrollo profesional a la vez que se propicia la difusión de las mejores prácticas en acuicultura. Como resultado final, se espera que el proyecto genere una expansión del mercado de la trucha, nuevos puestos de trabajo calificado, *know-how* acuícola y un producto de excelente calidad (Fig. 41).

RECURSOS (Materiales - Equipos)	RIESGOS
1. Tanques de cría 2. Tanque decantador 3. Filtro mecánico 4. Filtro biológico 5. Tanques de deposito 6. Bombas 7. Cañerías 8. Valvulas 9. Químicos 10. Alimento 11. Antibióticos 12. Balanzas 13. Equipos de medición 14. Computadoras 15. Recipientes 16. Dosificadores 17. Mangueras	A. Desperfecto mecanico B. Desperfecto electrico C. Desgaste temprano D. Vencimiento

¿CON QUIÉN? COMPETENCIAS - HABILIDADES - ENTRENAMIENTO	VÍNCULOS	RIESGOS
1. Directivos 2. Supervisor de planta 3. Técnicos 4. Veterinarios 5. Personal administrativo	Ver organigrama/ multiskills/job description	A. Ausentismo B. Rotación de personal C. Capacitacion D. Perdida de personal clave

REQUISITOS ENTRADA	¿Que debemos recibir?	¿Quién lo provee?	RIESGOS
	1. Alevinos 2. Alimento 3. Energia (Electricidad, gasoil, etc.) 4. Agua 5. Químicos 6. Antibióticos	Proveedores (1)(2)(5)(6) Compañía eléctrica (3) Autoprovisto (4)	A. Falla en la entrega B. Corte de suministro C. Condiciones economicas adversas D. Paro, huelga o cierre de proveedores E. Accidentes F. No conformidad de calidad



REQUISITOS SALIDA	¿QUÉ DEBEMOS ENTREGAR?	¿QUIÉN LO RECIBE?	RIESGOS
	Filet de trucha desviscerado fresco o congelado	Almacén - Cliente final	A. Producto fuera de especificación B. Entrega fuera de tiempo C. Producto en mal estado

¿CÓMO? MÉTODOS - PROCESOS - TÉCNICAS	PROCESOS SOPORTES	MÉTODOS O PROCEDIMIENTOS DEL PROCESO SOPORTE
Sistema cerrado con tratamiento y recirculación de agua (RAS)	1. Mantenimiento 2. Compras y Supply chain 3. EHS 4. Selecccion de personal y capacitacion 5. Finanzas y ventas 6. Almacén 7. Salud animal 8. Control de	A. Calibración y verificación de equipos e instrumentos B. Analisis fisicoquimicos C. Control animal D. Entrega de materiales E. Ponderación de ventas F. Consumos energéticos y de agua G. Reportes de incidente y eventos de
¿CÓMO? MÉTODOS - PROCESOS - TÉCNICAS	1. Mantenimiento 2. Compras y Supply chain	A. Calibración y verificación de equipos e instrumentos B. Analisis

¿QUÉ MIDO? INDICADORES	RESPONSABLE DEL INDICADOR	RIESGOS
1. CpK 2. % Rechazos 3. Agua consumida/ton de producto 4. Electricidad consumida/ton de producto 5. FIFO 6. Tiempo de ciclo 7. Mantenimiento preventivo 8. Ausentismo 9. Hs de entrenamiento 10. Downtime entregas 11. Consumo de antibioticos (mes) 12. Cantidad de ventas 13. LTIFR 14. N° dias sin accidentes 15. Parametros fisicoquimicos	Supervisor de planta/producción (1)(2)(5)(6) EHS (3)(4)(13)(14) Mantenimiento (7) RRHH (8)(9) Supply chain (10) Veterinarios (11) Ventas (12) Control de calidad (15)	A. Errores de cálculo y/o medición B. Pobre performance del indicador C. Falta de informacion D. Fuente de datos no confiable

Fig. 41: Diagrama de tortuga para el proceso productivo de Trucha Arcoiris

8.2 Gestión de recursos

8.2.1 Fuentes de energía y consumos estimados

El consumo de energía eléctrica durante la etapa de construcción estará mayormente destinada a la maquinaria requerida para las tareas de la obra e iluminación del predio, en cambio, durante la etapa operativa, el consumo de energía eléctrica estará distribuido entre el de oficinas y el de planta. En oficinas, el gasto energético se atribuirá a iluminación e informática, mientras que en planta estará destinado al funcionamiento de bombas, auto elevadores, sistemas de control, y maquinas en general. Se estima que la energía eléctrica promedio mensual necesaria para el funcionamiento de las instalaciones será de 11.500 kWh.

Por otro lado, se utilizará gasoil en ambas etapas para el funcionamiento de equipos y máquinas de construcción, así como también de camiones y vehículos agrícolas. Se considera que durante la etapa operativa el consumo de gasoil mensual promedio será aproximadamente de 2000 l, consumidos en el transporte de maquinaria y el funcionamiento eventual del grupo electrógeno.

8.2.2 Fuentes de agua, calidad y cantidad

La fuente de agua utilizada en ambas etapas será subterránea, proviniendo del acuífero Puelche a una profundidad aproximada de 60 m. El análisis fisicoquímico del agua en la zona de operación arrojó los siguientes resultados:

- Temperatura = 14,5 – 17°C
- pH = 7,6 (Promedio)
- OD = 7,5 mg/l

- Conductividad = 900 – 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Nitratos = 3,28 mg/l
- Carbonatos = 18,33 mg/l

El flujo subterráneo de agua presenta una dirección hacia el sudeste que sigue las geoformas del terreno hacia el cuerpo de agua superficial más cercano, futuro receptor del efluente líquido tratado.

El consumo de agua para la etapa de construcción se estima en 4000 m³, incluyendo pruebas hidráulicas y llenado de piletas de producción, mientras que en la etapa operativa se prevé un consumo mensual de agua de 320 m³, considerando una tasa de renovación de agua aproximada del 15%.

8.2.3 Otros insumos

Los insumos requeridos en la primera etapa del proyecto corresponderán principalmente a materiales de construcción, mientras que en la etapa operativa se prevé el consumo de forraje, drogas de uso veterinario, productos de limpieza y desinfección, productos químicos para el mantenimiento de la calidad del agua especificada (floculantes/coagulantes, estabilizadores de pH, sanitizantes, etc.). También se almacenarán elementos de embalaje como cajas de cartón y bolsas plásticas, artículos de librería y elementos de protección personal como guantes, arneses, chalecos, máscaras faciales etc. Sumado a ello, para todos los trabajos tanto constructivos como operativos serán necesarios elementos de seguridad y señalización.

El alimento balanceado y todos los productos químicos, incluyendo los medicamentos veterinarios, serán manipulados de acuerdo a los programas de gestión de residuos y monitoreo ambiental que se señalan en el apartado 8.5.

8.2.4 Residuos y efluentes

Durante la etapa de construcción se obtendrá material producto de excavación en cantidad tal que solamente una parte se utilizará como material de relleno en la propia obra, y el resto se dispondrá en los lugares que indique la autoridad municipal. Su generación será temporal; se manejará con cargador frontal y camiones que lo transportaran fuera de la obra.

Como resultado de las actividades de desmonte y extracción de vegetación, se generarán residuos de poda de árboles y arbustos, además de montículos, rocas, escombros, que también serán dispuestos de acuerdo a normativa municipal.

En ambas etapas se generarán cantidades no significativas de residuos provenientes de empaques y restos de bebidas y alimentos consumidos por el personal, que serán recolectados mediante limpiezas generales del sitio de obra, se los dispondrá temporalmente en tambores de 200 L con tapa y se llevarán a los rellenos sanitarios de la región.

En términos generales, los residuos generados durante la operación de planta corresponderían a envases de productos químicos, residuos de oficina compuestos por papel, cartón y plásticos, residuos orgánicos como restos de alimento sin consumir, aceites minerales usados y lubricantes, cuya disposición dependerá de la naturaleza del residuo. Los aceites usados y lubricantes serán colocados en tambores de 200 L y dispuestos como residuo especial por una empresa privada

del rubro. De igual manera, los envases de productos químicos utilizados serán paletizados y etiquetados de acuerdo a la corriente de residuos establecida en el anexo I de la ley provincial 11.720. Por otra parte, los residuos considerados reciclables como papel, cartón y plástico (films) serán acopiados y retirados por una empresa local de reciclaje en base al programa de gestión de residuos establecido en el punto 8.5.1.2.

A su vez, se generarán alrededor de 90 t/año de residuos provenientes del proceso de faena del pescado, constituido principalmente por subproductos proteicos compuestos por escamas, aletas, viseras, etc. Este residuo será recuperado, procesado y reincorporado al sistema como parte del alimento del cultivo. Así, se aprovecha gran parte de la materia orgánica de alto valor proteico que, de otra forma sería desechado, y se agrega valor al emprendimiento acuícola.

Los efluentes líquidos generados en la etapa operativa, tanto cloacales como industriales, serán tratados localmente en la propia planta de tratamiento teniendo en consideración la ley de la provincia de Buenos Aires 5965, Decreto 2009/60 y los parámetros de calidad de agua indicados por la resolución 336/03 del AdA, para luego ser volcados al cuerpo de agua más cercano. Se debe tener en cuenta que, por la naturaleza de la tecnología utilizada en planta, la generación de efluentes líquidos se reducirá significativamente con lo cual se estima que el volumen mensual de estos efluentes será de 90 m³.

Los efluentes gaseosos emitidos a la atmósfera provendrán mayormente de los equipos, maquinaria pesada y vehículos utilizados durante la construcción del proyecto; serán de poca cuantía y generación temporal. Mientras que, durante la operación del proyecto, se generarán efluentes gaseosos durante las tareas

logísticas de traslado de materias primas y producto, y ante eventuales necesidades operativas de grupos electrógenos.

Con respecto a los niveles de ruido, estos serán causados por máquinas de combustión interna, sin superar niveles de riesgo para la audición de trabajadores y población. Su generación será temporal y no significativa. De todos modos, se hará hincapié en una debida afinación y mantenimiento estricto de máquinas y equipos.

8.3 Normativa aplicable

8.3.1 Principales organismos, entidades y/o empresas involucradas

- Asociación Argentina de Acuicultura
- Autoridad del agua (AdA)
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
- Ministerio de Agroindustria de la Provincia de Buenos Aires
- Municipalidad de la localidad
- Organismo Provincial para el Desarrollo Sustentable (OPDS)
- Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación
- Servicio Nacional de Sanidad y Seguridad Agroalimentaria (SENASA)
- Subsecretaria de Pesca y Acuicultura de la Nación

8.3.2 Normas y/o criterios nacionales y/o extranjeros consultados

- Guías de buenas prácticas IFC acuicultura
- Ley de la provincia de Buenos Aires 11.459, Decreto 531/19
- Ley de la provincia de Buenos Aires 11.720, Decreto 806/97

- Ley de la provincia de Buenos Aires 5965, Decreto 2009/60.
- Ley de la provincia de Buenos Aires 13.592 Decreto 1215/10
- Ley General del Ambiente (25.675)
- Ley Nacional de Desarrollo Sustentable del Sector Acuícola (27.231)
- Normas ISO 9001, 14001, 22000 y 45001
- Res. 336/03 y res. 2222/19 AdA.

8.4 Acciones impactantes del proyecto

Etapa de Construcción

- Movimientos de tierra/Excavaciones.
- Extracción de vegetación.
- Circulación de vehículos (materiales, mano de obra, etc.) y maquinaria.
- Consumos de agua (principalmente subterránea).
- Consumo de materiales.
- Mantenimiento de equipos/maquinaria.
- Construcción de instalaciones secundarias.

Etapa operativa

- Mantenimiento de rutina.
- Circulación y operación de maquinaria.
- Operación de la planta industrial.
- Procesado de producto.

8.4.1 Principales factores ambientales susceptibles de ser impactados

- **Agua:** Aguas superficiales y subterráneas
- **Aire:** Calidad del aire en general – Ruido
- **Suelos:** Topografía, superficie y subsuelo
- **Flora y Fauna:** Vegetación y flora terrestre – Fauna silvestre
- **Paisaje:** Aspecto general
- **Aspectos sociales, culturales y económicos:**
 - Infraestructura de servicios (Agua potable, residuos, etc.)
 - Seguridad vial
 - Parámetros demográficos, proyecciones de crecimiento y dinámica
 - Actividades económicas

8.4.2 Identificación de impactos ambientales

El método utilizado para identificar y evaluar los impactos ambientales significativos asociados al proyecto es del tipo de análisis recurrente de verificación. Para ello se analizarán cada una de las actividades clave de las que consta el proyecto verificando el grado de alteración ejercida en cada elemento del ambiente. Para la clasificación de los impactos y determinación de las escalas se elaborará una matriz de impacto ambiental (Tabla 7), la cual vincula los impactos de las tareas desarrolladas durante las diferentes etapas del proyecto con cada elemento del ambiente. Así se realizará una evaluación cualitativa de los principales impactos del proyecto y se caracterizarán de acuerdo a su naturaleza, magnitud, duración, dispersión y reversibilidad. Finalmente se propondrá un plan de gestión ambiental para mitigar o eliminar los impactos del proyecto.

Secuencia de la gestión de impactos:

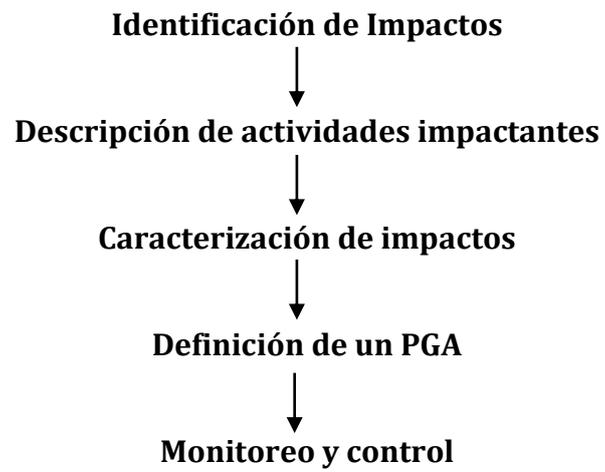


Tabla 7: Matriz de impacto ambiental del proyecto acuícola

Matriz de Impacto	Etapa Constructiva										Etapa Operativa					
	Contratación MO	Contratación de Servicios	Consumos de Agua	Acopio de Materiales	Movimientos de Tierra	Extracción de Vegetación	Circulación de Maquinaria	Construcción de infraestructura	Construcción de Obras Secundarias	Mantenimiento de Equipos/Maquinas	Finalización de Obra	Circulación de Maquinaria	Circulación de Vehículos	Operación de Planta	Procesado de Producto	Mantenimiento de Rutina
Agua Superficial	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Agua Subterránea	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Calidad de Aire	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Contaminación Acústica	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Topografía	0	0	0	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0
Suelo	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Subsuelo	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Flora	0	0	-	0	-	-	-	-	-	-	+	-	0	0	0	-
Fauna	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Paisaje	-	-	0	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	0	0	0
Actividad Económica	+	+	0	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
Demografía	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	+	+	0
Población	+	+	0	0	-	-	0	+	+	+	-	0	-	+	+	+

+ = Positivo

- = Negativo

0 = Neutro

De conformidad con la matriz de impactos descrita anteriormente, se desarrollarán los principales impactos relativos a cada etapa.

8.4.2.1 Actividades con impactos negativos

- **Extracción de vegetación.** Comprenderá la remoción de árboles de tamaño medio y arbustos dentro del lote de construcción, lo que podría afectar la infiltración del suelo, la fauna local y la estética visual de la zona.
- **Excavaciones y movimientos de suelo.** Pueden afectar la infiltración de agua de los suelos y, en el peor de los casos, contaminar agua superficial y/o subterránea.
- **Mantenimiento de equipos y maquinaria en general.** Puede haber, en menor medida, contaminación del suelo con hidrocarburos u otros residuos generados por el mantenimiento de equipos necesarios para la obra.
- **Construcción de obras.** Las tareas constructivas tendrán un gran impacto sobre diversos factores ambientales, especialmente sobre recursos como agua y energía, así como también sobre la necesidad de mano de obra y la circulación de vehículos y maquinaria.
- **Operación de planta.** Durante las tareas diarias de operación se generarán residuos sólidos de diversa índole, efluentes líquidos y gaseosos y contaminación acústica. También habrá mayor circulación de vehículos.

8.4.2.2 Actividades con impactos positivos

- **Contratación de mano de obra y de servicios.** Habrá mayor disponibilidad de trabajo para la mano de obra local y un incremento de la actividad económica del pueblo.
- **Finalización de obra y puesta en marcha.** Se generarán nuevos puestos de trabajo por tiempo indeterminado y habrá posibilidades de capacitación para la población.

8.4.3 Caracterización de impactos

En la siguiente caracterización de impactos, se tendrán en cuenta los principales elementos ambientales impactados por cada una de las actividades señaladas previamente.

8.4.3.1 Impactos negativos

- **Extracción de vegetación**

Elemento Ambiental Impactado: Suelo – Flora - Fauna - Paisaje

Magnitud: Leve

Duración: Temporal

Dispersión: Puntual

Reversibilidad: Reversible

Al inicio de la etapa constructiva se llevará a cabo la extracción de vegetación que se encuentre sobre la superficie de la zona de obra. Esto incluye arbustos, hierba y gran cantidad de árboles, afectando indirectamente a la fauna local y al paisaje rural. Por otra parte, la remoción de vegetación traerá aparejado una pérdida en la

capacidad de absorción de agua, lo que podría generar anegamientos en épocas de lluvia. El impacto es leve y focalizado en un área puntual, de duración temporal y totalmente reversible.

- **Excavaciones y movimientos de suelo**

Elemento Ambiental Impactado: Suelo – Topografía - Agua superficial

Magnitud: Moderado

Duración: Permanente

Dispersión: Puntal

Reversibilidad: Irreversible

Las excavaciones y los movimientos de suelo realizados posteriormente a la extracción de vegetación, causarán efectos permanentes sobre la topografía del lugar. Durante las diversas maniobras relativas a la excavación del suelo en el sitio del proyecto, se retirará material de la cubierta edafológica y capa vegetal con lo cual se alterará el sitio hasta el inicio de obra. Durante las tareas de compactación del terreno se incurrirá en la emisión de ruido de diversa magnitud proveniente de que acompaña a toda máquinas y equipos de excavación entre otros, Además, la extracción de suelo, compactación y acumulación de tierra en sectores del terreno pueden modificar la escorrentía superficial de la zona y propiciar la acumulación de agua durante los días lluviosos en sectores aledaños. Esta acción podría tener implicancias de mayor impacto al favorecer la conducción de contaminantes a cuerpos de agua superficiales.

Por último, en el retiro del material excavado del sitio se utilizará un cargador frontal y varios camiones de volteo. El cargador llenará los camiones de volteo con el material producto de la excavación no utilizado como relleno y, en el trayecto

hacia el lugar de disposición final, emitirán partículas sólidas a la atmósfera y levantarán polvo de los caminos por donde transiten.

- **Mantenimiento de equipos y maquinaria**

Elemento Ambiental Impactado: Suelo – Aire – Agua - Fauna

Magnitud: Leve

Duración: Permanente (Intermitente)

Dispersión: Local

Reversibilidad: Irreversible

Como resultado de las tareas de mantenimiento en ambas etapas del proyecto se generarán pequeñas cantidades de residuos especiales, tales como residuos de aceite mineral usado, grasas, pinturas, etc., los cuales deberán ser manipulados de acuerdo un programa de gestión adecuado para su correcta disposición y evitar la contaminación de factores ambientales. También, durante estas tareas, se producirán pequeñas emisiones gaseosas y ruido que podría afectar tanto a los trabajadores como a la fauna local, sin embargo, su magnitud es leve ya que los mantenimientos programados constituyen una actividad preventiva de baja intensidad y frecuencia, cuyo efecto global es garantizar el funcionamiento adecuado de los equipos y evitar mayores impactos negativos.

- **Construcción de obras**

Elemento Ambiental Impactado: Suelo – Paisaje – Agua - Aire

Magnitud: Moderada

Duración: Temporal

Dispersión: Local

Reversibilidad: Irreversible

El uso de maquinaria pesada para la construcción conlleva la generación de contaminación acústica, aunque al tratarse de una zona rural bastante alejada de las casas de la comunidad y por realizar las actividades a cielo abierto, dicho impacto no es significativo. La magnitud del impacto causado por las tareas constructivas será moderada, con generación de cantidades importantes de residuos de obra y pequeñas cantidades de emisiones gaseosas, consumos de agua y combustible. Su duración será temporal y tendrá impactos irreversibles como resultado de la edificación de diversas obras civiles.

- **Operación de planta**

Elemento Ambiental Impactado: Agua subterránea – Suelo – Aire - Fauna

Magnitud: Moderada

Duración: Permanente

Dispersión: Local

Reversibilidad: Irreversible

Si bien el proyecto está pensado para ser altamente eficiente en el consumo de recursos, el requerimiento de agua fresca para la operación de planta constituye uno de los mayores impactos ambientales del proyecto. Sumado a ello, habrá mayor generación de residuos orgánicos e industriales secos (papel, cartón, plástico, madera, etc.) y una pequeña cantidad de residuos especiales de características similares a las mencionadas anteriormente. Las emisiones gaseosas y el ruido generado por la operación normal de planta y por la circulación de vehículos no serán significativas y no constituirán una gran molestia para los trabajadores de la compañía. El efecto global de la operación de planta será un

impacto moderado, permanente e irreversible sobre diversos factores ambientales de la localidad.

8.4.3.2 Impactos positivos

- **Contratación de mano de obra y de servicios**

Elemento Ambiental Impactado: Población – Actividad Económica

Magnitud: Moderada

Duración: Temporal

Dispersión: Regional

Reversibilidad: Reversible

Por la mano de obra requerida para la obra, captada principalmente de la población local y cercanías, habrá un incremento de la actividad económica y mayores beneficios para la población. No obstante, el impacto positivo es de carácter temporal, por la duración de la obra, y no modificaran a largo plazo las condiciones laborales de la población local.

- **Finalización de obra y puesta en marcha**

Elemento Ambiental Impactado: Población – Actividad Económica

Magnitud: Moderada

Duración: Permanente

Dispersión: Local

Reversibilidad: Reversible

De manera similar al punto anterior, la puesta en marcha de la planta constituirá un incremento de la actividad económica de la población, trayendo aparejadas mejoras en el bienestar de las personas. A diferencia de la etapa constructiva, los

trabajos generados durante la operación de planta serán permanentes y permitirá la capacitación de los colaboradores en puestos de trabajo técnicos y con mayores perspectivas de futuro. Este impacto es altamente positivo para una pequeña población rural y generará mayores posibilidades de crecimiento personal.

8.5 Plan de gestión ambiental (PGA)

Las medidas de mitigación se pueden clasificar en físicas, también llamadas estructurales, y las que no involucran acciones físicas directas, o no estructurales. Las primeras se relacionan con diversas obras de ingeniería y construcción, mientras que las segundas con normativas, instrumentos del planeamiento, regulaciones, ordenamiento urbano y todo tipo de medidas preventivas. Las medidas de mitigación deben estar integradas en el plan de gestión ambiental para desarrollarse durante las diferentes etapas del proyecto, articulándose en programas de acuerdo con las características específicas de cada proyecto.

En virtud de las características específicas de este proyecto, se han determinado cinco impactos negativos que requieren acciones de mitigación para reducir y/o eliminar su impacto ambiental. Para ello, se establecieron los siguientes programas que conformaran el plan de gestión ambiental del proyecto:

8.5.1 Programa de gestión de obra

Los mayores impactos negativos de la obra se presentarán en las primeras etapas del proyecto durante las tareas preliminares de excavación, remoción de vegetación y compactación de suelo. Como medida preventiva se buscará que las áreas del lote que resulten compactadas en exceso por el movimiento de equipos o camiones y no sean utilizadas por la obra, sean removidas con el objetivo de

devolver al suelo su permeabilidad natural. En terrenos planos sujetos al estancamiento del agua de escurrimiento o con drenaje muy lento se evitará cavar zanjas o fosas para sacar materiales, a la vez que las cunetas, desagües y demás trabajos de drenaje, se ejecutarán con anterioridad a los trabajos de movimiento de suelos o simultáneamente con éstos, de manera de lograr que la ejecución de excavaciones, la formación de terraplenes y la construcción de las capas estructurales de la obra, tengan asegurado un desagüe correcto en todo tiempo, a fin de protegerlos de la erosión.

Se evitará en todo momento extraer vegetación que no se encuentre dentro del rango de construcción de la obra, capacitando previamente a los operarios y encargados de realizar esta tarea. Una vez finalizado el proyecto se procederá a reforestar parte del terreno de forma de compensar el impacto negativo y, a su vez, mejorar el aspecto visual y reducir la contaminación acústica generada durante la etapa operativa. Esta compensación será superior en calidad y cantidad al total de la vegetación extraída.

A efecto de reducir al mínimo la contaminación por ruido, aun cuando su intensidad sea sumamente baja y se ubique lejos de la comunidad, se supervisará el correcto mantenimiento y afinación de máquinas y equipos que se emplearán en la construcción de la obra.

En función de lo anterior, se concluye que no es necesaria la realización de obras complementarias para mitigar los impactos ambientales negativos.

8.5.2 Programa de gestión de residuos de obra y reciclables

Tanto en la etapa constructiva como durante la etapa operativa, el proyecto generará distintos residuos que serán gestionados de forma diferente según tipo y calidad. En primer lugar, se producirán residuos de construcción, escombros y tierra los cuales serán correctamente segregados y dispuestos de acuerdo a su clasificación. Para minimizar la cantidad de residuos de construcción enviados a disposición, se prevé reutilizar del 30 al 50 % en peso como material de relleno en la propia obra.

Sumado a los residuos de obra, también habrá cantidades importantes de residuos reciclables, principalmente cartón, papel y plástico serán segregados in situ, pesados y retirados por una organización local dedicada a la gestión de este tipo de residuos. El programa destinado a reducir el impacto de la generación de residuos busca reciclar al menos el 50% de los residuos sólidos secos no especiales y será monitoreado por el área de seguridad, higiene y medio ambiente de la compañía en el marco del programa de monitoreo ambiental y de la normativa del sistema de gestión de la empresa.

8.5.3 Programa de monitoreo ambiental

Si bien las operaciones de planta no tendrán un impacto severo sobre las variables ambientales, se considera que, como parte de una gestión ambiental responsable se deberán realizar controles frecuentes de las condiciones ambientales susceptibles de ser impactadas por el proyecto. Así, se establecerán diferentes indicadores de performance y se hará hincapié en el cumplimiento de las metas establecidas en el sistema de gestión ambiental de la compañía.

Por ser un proyecto de alto consumo de agua fresca, se buscará cumplir con el parámetro técnico de reutilización de agua de producción, establecido en un 85%, y siempre que sea posible se priorizará la implementación de tecnologías tendientes al incremento en la eficiencia del uso del agua. Por otra parte, se analizarán mensualmente los parámetros de vuelco de efluentes líquidos para controlar posibles desvíos y evitar incumplimientos de los requisitos legales. También se instalarán una serie de caudalímetros en diferentes sectores productivos para llevar un control más estricto de los consumos de agua.

Con respecto al uso de energía, se monitoreará el consumo mensual de energía eléctrica y se tomarán medidas para la reducción del consumo de energía por unidad de producto producido en el marco del seguimiento de un sistema de gestión de la energía. Como resultado de este subprograma, se instalará desde la concepción del proyecto iluminación LED de bajo consumo en todos los sectores de la planta, celdas fotovoltaicas para la iluminación exterior y se proyectará la instalación de energías renovables. A su vez, se estudiarán y programarán adecuadamente cada uno de los trayectos recorridos por los vehículos de transporte de producto a fin de minimizar los consumos de gasoil y reducir la huella de carbón del proyecto.

Como parte del programa de monitoreo ambiental, se realizará un estricto control de las cantidades de productos químicos utilizados. La optimización del uso de químicos permite no solo reducir costos operativos, sino que también contribuye a la reducción del impacto de generación y disposición de residuos especiales asociados a su utilización. En concordancia con este punto, se destinará un sector específico de planta al acopio transitorio de residuos especiales cuyas

características cumplirán con todos los requisitos legales establecidos para evitar la contaminación ambiental y mantener la seguridad de las personas.

8.5.4 Programa de comunicación social

Por último, para mejorar los lazos con la comunidad se implementarán una serie de subprogramas de comunicación y educación piscícola. Estos también tendrán como objetivo promover los beneficios de la acuicultura, del consumo de pescado y proveer herramientas para iniciar emprendimientos acuícolas. A su vez, el establecimiento brindará frecuentemente cursos técnicos, visitas escolares y mantendrá sus puertas abiertas a la comunidad ante cualquier inquietud.

Con el cumplimiento de programas destinados al fortalecimiento de la sociedad, a la protección ambiental y a la sanidad animal, la empresa asegurará que sus operaciones se lleven a cabo bajo la cultura del desarrollo sustentable y sus productos cumplan con los más altos estándares internacionales de calidad y seguridad alimentaria.

9. Conclusiones

La acuicultura es una actividad productiva que contribuye a solucionar parte de los complejos problemas socio-ambientales de este siglo XXI. Esta tiene el potencial de proveer alimentos de alta calidad nutricional a una población mundial en crecimiento exponencial, a la vez que posibilita reducir la presión ejercida por el hombre sobre recursos pesqueros finitos y sobre la biodiversidad marina en general. De ser ejercida de manera sustentable, aplicando altos estándares de seguridad y medio ambiente, así como también buenas prácticas de manufactura, es posible mitigar sustancialmente el impacto ambiental derivado de las actividades productivas. Asimismo, se reduce el consumo de recursos naturales, favoreciendo la disminución de la huella de carbono e hídrica en comparación con la de la pesca convencional.

El desarrollo de la acuicultura intensiva da lugar a la creación de nuevos puestos de trabajo como consecuencia de la mayor demanda de mano de obra para la operación de las instalaciones, y más inversión en capacitación para lograr hacer frente al desafío tecnológico que representa operar un sistema acuícola de recirculación cerrada. Adicionalmente, la logística, refinación y comercialización de productos y materiales constituyen fuentes de trabajo indirectas que propician el surgimiento de nuevas industrias de insumos y servicios para la acuicultura. Todas estas actividades forman parte de la cadena de valor acuícola y favorecen el desarrollo profesional de los trabajadores, lo que es considerado un pilar fundamental de la cultura de sustentabilidad.

Con respecto a los puntos críticos analizados previamente en este trabajo, se concluye que todo impacto ambiental derivado de la actividad acuícola puede ser mitigado efectivamente si se comprende, desde la etapa de diseño del proyecto, una metodología de trabajo seria dentro en un sistema de gestión integral que considere todos los aspectos ambientales significativos. Por ejemplo, el impacto derivado del manejo de efluentes líquidos dependerá no solo del diseño inicial seleccionado por productor, sino también de su responsabilidad y de las medidas que se tomen durante la vida útil del proyecto, como los controles frecuentes de calidad de agua o de salud de la población de peces. En cuanto al uso de antibióticos, si bien representa un mal necesario para lograr cumplir con los estándares de inocuidad alimentaria internacionales, su consumo puede ser reducido considerablemente aplicando buenas prácticas de higiene y seguridad en planta. Cabe destacar que en el país existe una sólida normativa que regula su utilización y establece los lineamientos generales para evitar su aplicación errónea o consumo en exceso. A su vez, se debe dejar en claro que la calidad de los alimentos balanceados utilizados en acuicultura ha mejorado notablemente en los últimos años y su presión sobre los recursos pesqueros se ha reducido como resultado de la optimización del uso de los residuos, subproductos pesqueros e incluso suplementos vegetales, con lo cual, se puede concluir que, si el productor invierte en un alimento de buena calidad, entonces obtendrá un producto de excelente, con menor impacto ambiental.

Considerando la bibliografía analizada en este trabajo, parecería que existieran intereses económicos opuestos al crecimiento de la acuicultura intensiva en Argentina, sin embargo, teniendo en cuenta los hechos analizados hasta el

momento se deduce que la cría intensiva de peces representa una opción complementaria a la producción agrícola más tradicional que ayuda optimizar el uso del capital y la tierra, con lo cual no representa una amenaza a otros sectores agropecuarios. A pesar de la relativamente nueva legislación nacional sobre acuicultura sustentable, todavía no hay suficientes incentivos para invertir en actividades piscícolas, a lo que se le suman pocas políticas que alienten el desarrollo del sector y la falta de previsión política y económica de un país sumamente volátil.

Retomando el punto legal, se concluye que, a nivel nacional Argentina cuenta con una ley robusta en materia acuícola, pero cuyos beneficios todavía no se han materializado completamente. En el plano provincial, la mayoría de las provincias productoras han adherido a la ley nacional de acuicultura sustentable o han presentado proyectos de ley similares. En términos regionales, la comparación resulta más compleja debido a diferencias macroeconómicas e idiosincráticas, pero se puede concluir que Argentina ha logrado incluir de manera apropiada los conceptos de desarrollo sustentable, que otros países todavía no tienen definidos.

Se considera imprescindible comprender los requisitos y tendencias actuales para mejorar el desempeño acuícola, abarcando las acciones de capacitación, investigación, soporte técnico, producción, y el establecimiento de políticas públicas y reglamentaciones adecuadas para el ordenamiento y crecimiento del sector. Siguiendo el lineamiento anterior, Argentina reúne todas las condiciones para transformar su potencial acuícola en una realidad y convertirse en un agente competitivo en el mercado piscícola. El hecho de encontrarse todavía en una etapa incipiente de su desarrollo brinda la posibilidad de iniciarse en la actividad de

manera sustentable, aplicando técnicas de cultivo intensivas tipo RAS, las cuales presentan las mejores posibilidades para sacarle provecho a la producción y se adaptan mejor al cultivo intensivo de peces y a las necesidades de los empresarios. Por otro lado, las técnicas acuapónicas si bien representan una excelente forma de lograr una actividad sustentable, sobre todo orientada a pequeños cultivos de tipo familiar y con base en una actividad orgánica, pueden resultar poco prácticos a la hora de producir a gran escala y su complejidad de implementación constituye, muchas veces, una barrera demasiado difícil de superar. En tal sentido, se concluye que el sistema RAS, manejado responsablemente, logra conectar de mejor manera las necesidades de rentabilidad con las del ambiente y la sociedad.

Por último, se deja pendiente para quien desee retomar esta investigación, la realización de un análisis de impacto ambiental de las salmoneras en el sur, cuestión que se abordó en el capítulo 5 debido a su importancia para la economía y ambiente de la región. Otro aspecto interesante y que merece un desarrollo particular se centra en la puesta en marcha y operación de un sistema de recirculación cerrada tipo RAS junto con la implantación de un sistema integrado de gestión, incluyendo los aspectos energéticos.

Sin lugar a dudas, la acuicultura es una actividad sumamente interesante que, con los incentivos adecuados, podría seguir desarrollándose satisfactoriamente en el país. Además, de ser manejada correctamente, su impacto ambiental es mínimo sin necesidad de hacer grandes inversiones en tecnología y generado a su vez nuevas fuentes de trabajo.

10. Anexos

10.1 Anexo I: Generalidades de las principales especies estudiadas: El Pacú y la Trucha Arcoíris

El Pacú (*Piaractus mesopotamicus*) es un pez de agua dulce nativo de la cuenca de los ríos Paraná y Paraguay. Es robusto, de forma ovoide, y lateralmente aplanado. Alcanza los 45 cm de largo, y, en ambientes naturales pueden desarrollarse hasta pesos de 10 kg a 20 kg, con una esperanza de vida de 25 a 30 años. Sus escamas son grises o plateadas, con el vientre blanco y el pecho de color amarillo dorado. Presenta en los flancos salpicaduras negras, y las aletas son amarillas o anaranjadas, con un reborde negro (Fig. 42).



Fig. 42: Pacú (*Piaractus mesopotamicus*)

Es un pez de alimentación omnívora con tendencia hacia herbívora a frugívora, en determinadas etapas de su vida puede alimentarse con microorganismos de origen animal o vegetal (Fito o zooplancton). Prefiere ambientes subtropicales; hacia

marzo remonta el río buscando zonas más cálidas, y vuelve a descender hacia octubre. Desova en verano, entre diciembre y enero.

Por tratarse de un pez migratorio, su captura es estacional, provocando un desabastecimiento en los mercados para el consumo, el cual puede suplirse con su cría artificial. En cautiverio se lo cría durante aproximadamente 14 meses, periodo en el cual alcanza un peso de 1100 - 1200 g, dependiendo de la temperatura ambiente, la modalidad de cultivo empleada, las densidades de siembra y la calidad nutricional de las raciones ofrecidas.

La trucha “arco iris” (*Oncorhynchus mykiss*), es una especie íctica perteneciente a la familia Salmonidae, originaria de las costas del Pacífico de América del Norte que, debido a su fácil adaptación al cautiverio, su crianza ha sido ampliamente difundida casi en todo el mundo. En América del Sur, se encuentra distribuida en Argentina, Brasil, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Tiene escamas bastante pequeñas y de colores tornasolados, su dorso es de color azul a verde oliva, los flancos plateados y vientre blanquecino. Presenta manchas negras en la cabeza, cuerpo, aletas dorsales y cola (Fig. 43). Su coloración varía en función del hábitat, la alimentación, el tamaño y la condición sexual. Su cuerpo es alargado y un tanto comprimido, en general, algo diferente a la trucha común, que es una especie más territorial y con comportamiento más bentónico. También se diferencia de ésta por tener la cabeza más pequeña y moteado negro por debajo de la línea media, en la aleta adiposa y en la caudal. Presenta además una amplia banda irisada de tono rosáceo en la línea lateral y puede alcanzar los 80 cm, aunque el tamaño más común es entre 20-40 cm, con un peso de 500 g a los 6 kg.



Fig. 43: Trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*)

Es un pez de hábito carnívoro y se alimenta en la naturaleza de presas vivas, como insectos en estado larvario, moluscos, crustáceos, gusanos, renacuajos y peces pequeños. Su hábitat natural son los ríos, lagos y lagunas de agua fría, limpia y cristalina; típica de los ríos de alta montaña. Esta especie prefiere las corrientes moderadas y ocupa generalmente los tramos medios de fondos pedregosos y de moderada vegetación. Sin embargo, es un pez muy resistente y tolerante a una amplia gama de ambientes, lo que le hace muy apto para la cría.

Según los autores Santiago Panné Huidobro, Laura Luchini y Antonio Pacic, y diferentes manuales de crianza de Pacú y Trucha Arcoíris desarrollados por institutos públicos como el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) o planes provinciales, nacionales e internacionales para el desarrollo de la actividad acuícola sostienen que las condiciones óptimas de cría de las especies analizadas son las que se especifican a continuación:

Temperatura: Juega un rol fundamental en el crecimiento y bienestar de los peces. Cuanto mayor sea la temperatura, mayor será la actividad metabólica de los

mismos y, por lo tanto, mayor será el consumo de oxígeno y de alimento. Todas las actividades fisiológicas de los peces (respiración, digestión, excreción, etc.) están íntimamente ligadas con la temperatura del agua.

El Pacú es un pez de clima tropical y subtropical, con lo cual las temperaturas del agua a la que mejor se adaptan se encuentran por encima de los 20°C, situándose la temperatura óptima en el rango de 22°C a 26°C. A temperaturas menores de 15°C, estos peces comienzan a perder el apetito y por debajo de los 10°C corren riesgo de muerte.

La Trucha Arcoíris es un pez de agua fría, aunque el grado de tolerancia a la temperatura es amplio, pudiendo subsistir a temperaturas de 25°C durante varios días y a límites inferiores cercanos a la congelación. La temperatura óptima de desarrollo de estos peces se encuentra en el rango de 10°C a 16°C.

Calidad del agua: Está determinada por el conjunto de las propiedades químicas y físicas de la misma y por las interacciones producidas entre los organismos vivos existentes como de otros organismos invertebrados y microorganismos, junto al medio ambiente del propio cultivo. Hay una amplia gama de factores a considerar como el pH, la alcalinidad, el oxígeno disuelto, los sólidos en suspensión, la dureza total, los nitritos y nitratos. No obstante, los primeros tres son fundamentales en la cría de cualquier especie acuática.

Los valores de pH entre 7 y 8 son considerados óptimos para la cría de Pacú, siendo la especie, excepcionalmente tolerable a aguas más alcalinas (Aprox. 200 mg/l o ppm). Un pH fuera de la franja de neutralidad, principalmente medio acidificado, tiende a estresar a los peces y favorecer la proliferación de enfermedades (Tabla 8).

En general, la Trucha Arcoíris es una especie más sensible a las condiciones ambientales y fisicoquímicas que el Pacú por lo que los parámetros óptimos de cría son más difíciles de lograr (Tabla 9). Esto hace que el control sobre los factores que afectan a los peces deba ser controlado con mayor detenimiento y que la operatoria de producción resulte más compleja. Por ejemplo, el pH óptimo para la cría de Trucha Arcoíris se debe encontrar entre 6,5 y 7,0.

Mientras que el Pacú requiere más de 4 mg de oxígeno por cada litro de agua para lograr un adecuado crecimiento, la Trucha Arcoíris necesita un valor mayor a 7.3 mg de oxígeno por cada litro de agua. Para la primera especie, valores de oxígeno disuelto menores a 3 mg/l pueden ser letales, entretanto la segunda especie no podría subsistir en ambientes con menos de 5 mg/l.

Para ambas especies los valores óptimos de nitritos y nitratos son similares, encontrándose los mismos en valores 0,1 mg/l y 1,0 mg/l respectivamente. Pequeñas variaciones en estos valores pueden derivar en un desarrollo deficiente del pez o incluso la muerte.

En concentraciones demasiado elevadas, el nitrito es un fuerte tóxico sanguíneo. A partir de 3,3 mg/l los peces se encuentran en un peligro extremo. Los altos niveles de nitritos representan un daño doble para la salud del pez. Por un lado, irritan la piel y branquias del pez, contribuyendo a los efectos acumulativos del estrés en el sistema inmunológico. Por el otro lado, los nitritos son absorbidos por las branquias, uniéndose a las células rojas en el sistema sanguíneo del pez, volviéndose incapaces de transportar el oxígeno. Es por esta razón que uno de los síntomas característicos de los altos niveles de nitritos son los peces que boquean en la superficie del agua.

Si el valor del nitrato supera los 50 mg/l, los peces y las plantas se debilitan y las algas proliferan. Los altos niveles de nitratos pueden dilatar las venas del pez y provoca que los peces se muestren reacios a nadar. Pero el efecto más notable está en el sistema inmunológico. Incluso niveles bajos de nitratos a largo plazo pueden afectar el sistema inmunológico del pez, haciéndolos más propensos a toda clase de enfermedades y su apetito también se ve afectado.

La dureza total influye directamente en el crecimiento de peces, microorganismos y plantas. Ambas especies provienen de regiones con agua blanda a dura, es decir con valores de dureza total de menos de 150 mg/l a 400 mg/l. Aguas extremadamente duras, con concentraciones mayores a 550 mg/l pueden derivar en un crecimiento insuficiente de los organismos acuáticos.

Color y turbidez: Una coloración verdosa o levente azulada es la más acertada para la cría de Pacú, ya que demuestra que contiene los elementos básicos para el mantenimiento de la vida acuática. Esto no quiere decir que las aguas deban ser turbias sino todo lo contrario, aguas muy turbias no permiten el paso de radiación solar y desfavorecen el crecimiento de organismos vegetales y animales. Por otra parte, las aguas transparentes que permiten la penetración de luz solar toman color verde por la proliferación de plantas con clorofilas que, a su vez, proporcionan oxígeno por fotosíntesis. Una concentración de sólidos en suspensión de 2 g/l resulta la más adecuada para su crecimiento.

La Trucha Arcoíris, por el contrario, habita en aguas transparentes y claras. Por esta razón, es preferible para su cría la utilización de agua con valores de sólidos en suspensión menores a 30 mg/l.

Tabla 8: Resumen de parámetros críticos para el Pacú

Parámetro	Óptimo	Letal
Temperatura del agua	22°C - 26°C	< 10°C
Ph	7,0 - 8,0	< 6
Alcalinidad	100 - 200 mg/l	> 200 mg/l
Oxígeno Disuelto	> 4 mg/l	≤ 3 mg/l
Dureza Total	20 - 300 mg/l	*
Sólidos en suspensión	2000 mg/l	*
Nitritos	< 0,1 mg/l	≥ 3,3 mg/l
Nitratos	< 1 mg/l	> 50 mg/l

* Parámetros cuyos valores letales no han sido encontrados en bibliografía.

Tabla 9: Resumen de parámetros críticos para la Trucha Arcoíris

Parámetro	Óptimo	Letal
Temperatura	10°C - 16°C	< 0°C
Ph	6,5 - 8,0	< 6
Alcalinidad	100 - 200 mg/l	> 200 mg/l
Oxígeno Disuelto	> 7,3 mg/l	≤ 3 mg/l
Dureza Total	60 - 300 mg/l	*
Sólidos en suspensión	< 30 mg/l	*
Nitritos	< 0,1 mg/l	≥ 3,3 mg/l
Nitratos	< 1 mg/l	> 50 mg/l

* Parámetros cuyos valores letales no han sido encontrados en bibliografía.

10.2 Anexo II: Cálculos de FIFO para el salmón por los métodos de Tacon & Metian, Jackson y Combinado

- Método de Tacon & Metian (2008)

Supuestos: - La dieta típica para el salmón debe contener un 20% aceite de pescado y un 30% harina de pescado (porcentajes máxicos).

- 1 t de pescado para forraje produce 50 kg de aceite de pescado y 225 kg de harina de pescado.

- FCR = 0,8

Cantidad de alimento producido con 50 kg de aceite:

$$50 \text{ kg aceite} \cdot \frac{100 \text{ kg alimento}}{20 \text{ kg aceite}} = 250 \text{ kg alimento}$$

Requerimiento de harina de pescado:

$$250 \text{ kg alimento} \cdot \frac{30 \text{ kg harina}}{100 \text{ kg alimento}} = 75 \text{ kg harina}$$

Con 1 t de pescado se producen 225 kg de harina, pero solo necesito 75 kg.

Desperdicio de harina de pescado:

$$(225 - 75) \text{ kg harina} = 150 \text{ kg harina}$$

Por lo tanto, el FIFO será:

$$FIFO = \frac{Fish\ In}{Fish\ Out} = \frac{1000 \text{ kg}}{0,8 \cdot 250 \text{ kg}} = 5$$

- Método de Andrew Jackson (2009)

Supuestos: - La dieta típica para el salmón debe contener un 20% aceite de pescado y un 30% harina de pescado (porcentajes máxicos).

- 1 t de pescado para forraje produce 50 kg de aceite de pescado y 225 kg de harina de pescado.

- FCR = 0,8

Cantidad de alimento producido con 50 kg de aceite:

$$50 \text{ kg aceite} \cdot \frac{100 \text{ kg alimento}}{20 \text{ kg aceite}} = 250 \text{ kg alimento}$$

En este caso no se desperdicia harina de pescado, por lo tanto:

$$150 \text{ kg harina} \cdot \frac{100 \text{ kg alimento}}{30 \text{ kg harina}} = 500 \text{ kg alimento (adicional)}$$

Por lo tanto, el FIFO será:

$$FIFO = \frac{Fish\ In}{Fish\ Out} = \frac{1000 \text{ kg}}{0,8 \cdot (250 + 500) \text{ kg}} = 1,7$$

- Método Combinado (2015)

Supuestos:

- La dieta típica para el salmón debe contener un 20% aceite de pescado y un 30% harina de pescado (porcentajes máxicos).
- 1 t de pescado para forraje produce 50 kg de aceite de pescado y 225 kg de harina de pescado.
- FCR = 0,8
- La mitad del pescado es utilizado para la producción de harina y aceite.

La tasa FIFO para el aceite:

$$FIFO)_{ac} = FCR \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{\% \text{ aceite en el alimento}}{22,5} \right)$$

$$FIFO)_{ac} = 0,8 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{20}{5} \right) = 1,6$$

La tasa FIFO para la harina:

$$FIFO)_{har} = FCR \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{\% \text{ harina en el alimento}}{22,5} \right)$$

$$FIFO)_{har} = 0,8 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{30}{22,5} \right) = 0,5$$

La tasa FIFO global:

$$FIFO = FIFO)_{ac} + FIFO)_{har} = 1,6 + 0,5 = \mathbf{2,1}$$

10.3 Anexo III: Antibióticos comúnmente utilizados en acuicultura.

Los antibióticos más utilizados en acuicultura se especifican a continuación:

- Ácido Oxolínico: Es una quinolona de primera generación que posee una actividad bactericida sobre la mayoría de los microorganismos gram-negativos de localización urogenital. El ácido oxolínico es un agente antibacteriano, derivado estructuralmente de la 4-quinolona. Su mecanismo de acción parecería estar relacionado con la inhibición de la síntesis bacteriana de ADN y es probable que interfiera en su polimerización. A este grupo de antibióticos se le agregó un átomo de flúor, surgiendo las fluoroquinolonas, grupo al que pertenece la Flumequina. Su vía de administración es oral a través del alimento.
- Flumequina: Es un antibiótico bactericida perteneciente al grupo de las fluoroquinolonas. Estos cuentan con un espectro de acción más amplio ya que afectan tanto a las bacterias gram-negativas como a las gram-positivas. Además, tienen una mayor liposolubilidad, distribuyéndose ampliamente en el organismo. Su vía de administración es oral y parenteral.
- Oxitetraciclina (OTC): Se trata de un derivado de la familia de los antibióticos tetraciclínicos. Es moderadamente lipofílica, pero lo suficiente como para atravesar fácilmente diferentes barreras celulares, distribuyéndose en todo el organismo. Es uno de los grupos antibióticos de elección en el tratamiento de infecciones causadas por patógenos intracelulares, presentando acciones bacteriostáticas y/o bactericidas sobre numerosos microorganismos gram-negativos y gram-positivos, clamidias,

rickettsias, etc. Debido a su amplio espectro de acción, también pueden utilizarse en otro tipo de infecciones bacterianas como flavobacteriosis.

Su mecanismo de acción se desarrolla sobre los ribosomas microbianos en donde altera la síntesis de proteínas e inhibe el desarrollo y crecimiento del microorganismo, aunque pueden actuar como bactericidas al alcanzar elevadas concentraciones en ciertos tejidos.

La vía de administración del OTC es preferentemente oral por medio del alimento, pero también se puede administrar por vía parenteral. Se debe tener en cuenta que, en presencia de cationes divalentes como el calcio o el magnesio, disminuye su absorción debido al efecto quelante de estos iones, alterando a la vez la biodisponibilidad.

- Amoxicilina: Es un antibiótico semisintético derivado de la penicilina, cuyo foco de acción son las enzimas que sintetizan la pared celular de las bacterias. Se trata de una amino penicilina que actúa contra un amplio espectro de bacterias, tanto gram-positivas como gram-negativas, empleada a menudo como primer fármaco en infecciones de diferente gravedad, tanto en medicina humana como también en veterinaria. Como es un ácido orgánico débil hidrosoluble, no atraviesa las membranas biológicas con facilidad, impidiendo su amplia distribución en el organismo.

Al igual que con otros antibióticos, su vía de administración preferencial es oral, pero también se puede administrar vía parenteral.

- Eritromicina: Es un antibiótico perteneciente a la familia de los macrólidos, que impide la síntesis de proteínas en las bacterias. Es usualmente bacteriostático, excepto a altas concentraciones, en donde se torna bacteriolítico, siendo muy activa en Streptococcus sp. y activa frente a otros gram-positivos, gram-negativos, clamidias y rickettsias, entre otras. Se absorbe en el intestino para luego distribuirse rápidamente en el líquido intracelular alcanzando actividad antibacteriana en casi todo el organismo. El modo de administración es principalmente por vía oral, aunque esto disminuye su biodisponibilidad.
- Florfenicol: Es un antibiótico perteneciente a la familia de los fenicoles, derivado del tianfenicol. Es un compuesto neutro, liposoluble, que atraviesa fácilmente las barreras celulares y difunde rápidamente por todo el organismo. Es un antibiótico de amplio espectro que actúa sobre bacterias gram-negativas, gram-positivas y rickettsias.

El mecanismo de acción de la molécula se traduce en el bloqueo de la formación de proteínas por acción directa sobre los ribosomas. La consecuencia para la bacteria es la inhibición de su multiplicación por lo que el efecto es bacteriostático.

Su vía de administración es preferentemente oral a través del alimento, pero también puede administrarse por vía parenteral.

10.4 Anexo IV: Introducción a la legislación ambiental

Hasta bien entrado el siglo XX, se entendía al ambiente como un conjunto de recursos naturales de una región determinada que podían ser explotables económicamente, sin que hubiera concepción alguna de la idea de desarrollo sostenible. Los recursos naturales, por definición, son bienes que constituyen elementos esenciales del ambiente, que le sirven al hombre y que todavía no han sido objeto de transformación por parte de él. Su regulación jurídica fue realizada en primer término por el derecho de los recursos naturales, el que los ordenó de manera individual en función de los usos de los que podían ser objeto. Fue recién en el año 1968, cuando en la ciudad de Roma se reunieron científicos, investigadores y políticos de más de 30 países para discutir sobre una preocupación en común: los efectos de los cambios ambientales en la sociedad y el planeta. Así se funda el grupo conocido como el “Club de Roma”, con el objetivo de investigar sobre la problemática ambiental e interrelacionar los distintos aspectos demográficos, energéticos y alimentarios con los aspectos políticos de los próximos años. El primer informe que realiza el Club de Roma es el “Informe Meadows” (también conocido como “Limites al Crecimiento”) presentado en 1972, en el que uno de sus principales mensajes fue la alerta sobre el alcance de los límites de crecimiento en la tierra en un plazo de 100 años si se continuaba con el actual incremento de la población mundial, la industrialización, la contaminación, la producción de alimentos y la explotación de los recursos naturales. Más adelante, en 1987, las Naciones Unidas publicó el Informe “Nuestro futuro común”, conocido también por el nombre de “Informe Brundtland” recogiendo el nombre de la primera ministra noruega, Gro Harlem Brundtland, presidenta de la Comisión de Medio ambiente de

Naciones Unidas en el periodo 1983-1987. La publicación de “Nuestro futuro común” fue un importante hito para la Teoría del Desarrollo dado que, por primera vez, se plasma y registra el concepto de Desarrollo Sostenible o Desarrollo Sustentable, en el que la dimensión ambiental se incorpora junto a las dimensiones económica y social. De esta forma, la aparición posterior del derecho ambiental surgió de la necesidad de conservación del ambiente a fin de evitar su destrucción y como resultado de ella el riesgo de desaparición de la calidad de vida apropiada tanto para las generaciones actuales como para las futuras.

El derecho al ambiente sano surge por primera vez a nivel internacional como uno de los contenidos básicos de la declaración que en 1972 adoptara la conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente, celebrada en Estocolmo. En esa oportunidad se expresó:

“El hombre tiene el derecho fundamental a la libertad, y a la igualdad, dentro de las condiciones de vida satisfactorias, en un ambiente cuya calidad le permita vivir en dignidad y bienestar. Asimismo, tiene el deber fundamental de proteger y de mejorar el ambiente para las generaciones presentes y futuras”.

Las constituciones que en adelante se han ido sancionando han consagrado, sin excepción, la protección del ambiente tomando como principal antecedente a la labor iniciada en Estocolmo.

El Dr. Daniel Sabsay, en su libro “La constitución de los argentinos”, escribe que la incorporación de la dimensión ambiental a nuestra Constitución Nacional (CN) se corresponde con una realidad de la que hoy en día da testimonio un número cada

vez mayor de leyes de todos los países del mundo. También destaca que todas las nuevas constituciones dictadas en la mayoría de las provincias desde 1986 abordan esta cuestión.

En Argentina, la reforma constitucional de 1994 introduce la temática ambiental en la ley fundamental de la Nación. El artículo 41 de la CN, ubicado en un nuevo capítulo de la parte dogmática, titulado "Nuevos derechos y garantías", se ocupa de esta problemática. Este establece:

Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley.

Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales.

Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquéllas alteren las jurisdicciones locales. Se prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos actual o potencialmente peligrosos, y de los radiactivos.

En el primer párrafo de esta disposición (parte dogmática, dedicada a principios, derechos y garantías), se reconoce el derecho humano a un ambiente calificado como sano y equilibrado. Al mismo tiempo se fija un objetivo temporal: "la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras", que pone de manifiesto la incorporación de la noción de desarrollo sustentable que hoy en día ubica a la variable ambiental como necesaria en la toma de toda decisión que haga al desenvolvimiento de una comunidad organizada. A su vez, se expresa el deber de todo habitante de velar por la preservación del ambiente; y, la obligación de reparar los daños. En el segundo y tercer párrafo (la parte orgánica, relacionada con los poderes de gobierno) se determinan una serie de prestaciones a cargo del Estado para posibilitar justamente que rija el derecho humano fundamental que se reconoce en la primera parte y, finalmente, se habla del deslinde de competencias entre la Nación y las provincias.

Deslinde de competencias Nación-Provincias:

La República Argentina es un país federal con un desarrollo legislativo provincial diverso en materia ambiental. De acuerdo al Dr. Sabsay esta es la razón por la cual se requiere de un piso de protección común en todo su territorio, que evite situaciones de inequidad para los habitantes de aquellas jurisdicciones que cuentan con una protección ambiental legal e institucional más débil a la mínima necesaria. Tanto la elaboración como la implementación de las leyes de presupuestos mínimos de protección ambiental son temas fundamentales que no ofrecen lugar a dudas acerca de su importancia, a fin de lograr la concreción del derecho a un ambiente sano para todos los habitantes y el deber de su preservación en función a lo establecido en el art. 41 de nuestra de la CN.

Como se mencionó anteriormente, el deslinde de competencias entre la Nación y las provincias surge de nuestra CN independientemente de la materia de que se trate. En relación a lo ambiental, se debe tener en cuenta que esta temática no había sido tratada en el articulado anterior a la reforma de 1994 debido a la inexistencia de una concepción ambiental por fuera de la lógica de la explotación de los recursos naturales. Actualmente, el tercer párrafo del art. 41 de la CN se refiere al deslinde de competencias Nación-Provincias en la cuestión ambiental.

Recurriendo a los principios generales, la división de competencias entre la Nación y las provincias surge de la aplicación del art. 121, conforme al cual las provincias conservan todo el poder no delegado a la Nación. Es decir que la Nación posee una competencia de excepción, ya que ella debe resultar de una delegación expresa, hecha a su favor por parte de las provincias. Las provincias tienen una competencia general, conformada por todas las atribuciones remanentes, o sea todas aquellas que no le han sido expresamente reconocidas a la Nación. La CN también establece que la competencia nacional tiene una jerarquía superior a la provincial y que en consecuencia es suprema. Esto trae aparejado ciertos inconvenientes debido al carácter interjurisdiccional de muchas cuestiones relacionadas al ambiente o cuando se trata de saber la titularidad de facultades concurrentes. A su vez, debe considerarse el art. 124 de la CN que establece, entre otras cosas, que: *“corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio”*, es decir que la delegación de competencias se efectuó bajo la condición de que su ejercicio no importara un vaciamiento del dominio que tienen las provincias sobre esos mismos recursos.

En principio, el planteo teórico de la cuestión parece bastante ordenado y sencillo, pero en la práctica, su implementación se hace más compleja debido a la dificultad que se encuentra a la hora de discernir la línea divisoria entre las potestades nacionales y las provinciales. Este problema constituye de alguna manera el punto clave en este campo y su solución debe llegar construyendo un mínimo consenso entre niveles de gobierno.

Para buscar una solución a los conflictos de competencia y jurisdicción en materia ambiental que se podrían presentar entre Nación y provincias, en 2002 el Congreso Nacional comenzó a sancionar una serie de leyes de presupuestos mínimos, entre las cuales merece destacarse la denominada Ley General del Ambiente (LGA), norma de esencial envergadura para el régimen jurídico ambiental argentino. La LGA es una ley marco en materia de presupuestos mínimos de protección ambiental, que el Congreso Nacional sancionó en virtud del mandato del tercer párrafo del art. 41 de la CN. En su texto reúne aspectos básicos de la política ambiental nacional, en consonancia con diversas contribuciones de la comunidad jurídica y de la sociedad en general. Esta norma proporciona la estructura institucional primordial sobre la cual deben sancionarse e interpretarse las leyes sectoriales de presupuestos mínimos. Asimismo, plantea los objetivos, principios e instrumentos de la política ambiental nacional que se constituyen como criterios y herramientas fundamentales para que las autoridades legislativas provinciales y administrativas de los diversos niveles de gobierno puedan ejercer el poder de policía ambiental, y la comunidad regulada y la sociedad civil participen en los procesos de toma de decisión (Sabsay & Di Paola, Coordinación y armonización de las normas ambientales en la República Argentina, 2009).

De esta forma, la Ley General del Ambiente es considerada como un paso fundamental y necesario para dotar a las autoridades de elementos de interpretación para la aplicación de la norma y el tratamiento de las cuestiones interjurisdiccionales en lo que hace a temas ambientales en la Argentina.

10.5 Anexo V: El proceso de nitrificación

Los peces excretan varios productos nitrogenados residuales por difusión e intercambio iónico a través de las branquias, orina y heces. La descomposición de estos compuestos nitrogenados es especialmente importante en sistemas de recirculación debido a la toxicidad del amoníaco, nitrito y en menor grado del nitrato. El proceso de remoción de nitrógeno amoniacal en un filtro biológico se denomina nitrificación.

El amoníaco, nitrito y nitrato son todos altamente solubles en agua. El amoníaco se presenta en dos formas: no ionizado (NH_3) y ionizado (NH_4^+ o amonio), la concentración relativa de estas formas en la columna de agua es principalmente una función del pH, temperatura y salinidad (Ver Fig. 44). La suma de las dos formas se denomina amoníaco total o simplemente amoníaco (NAT). Un aumento del pH o la temperatura aumenta la proporción de la forma no ionizado del NAT. El amoníaco es extremadamente tóxico para los peces, valores menores a 1 mg/l comprometen la sobrevivencia de muchas especies e incrementan el estrés en muchas otras; dependiendo del tiempo de exposición. Inclusive, se considera que concentraciones más bajas de 0,02-0,07 mg/l pueden provocar daños en los tejidos branquiales. Para exposiciones de largo plazo, las concentraciones permisibles de NH_3 dependen de la especie y de la temperatura de cultivo, pero como regla general este debe mantenerse bajo 0,05 mg/l.

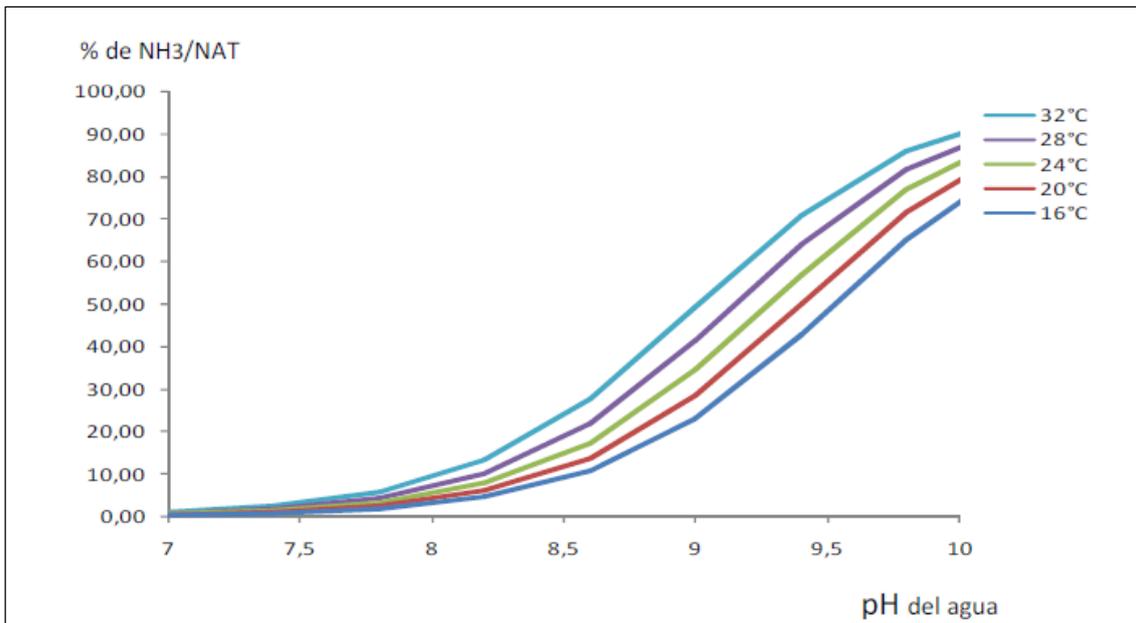


Fig. 44: Variación de la relación NH₃/NAT con el pH a diferentes temperaturas

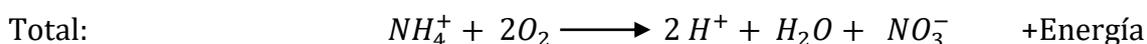
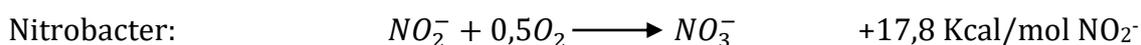
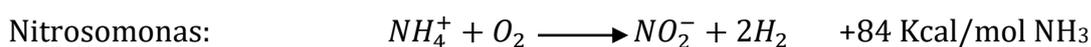
Los nitritos, son un producto intermedio en el proceso de nitrificación y también son tóxicos para los peces en concentraciones relativamente bajas (<0,25 mg/l), dependiendo de la especie. A pesar de que son usualmente convertidos en nitratos tan pronto como se producen, una nitrificación incompleta aumentará la concentración de estos, generando una disminución en el crecimiento de peces por estrés, e incluso, puede provocar la enfermedad conocida como “de la sangre marrón”; cuando este compuesto ingresa en el sistema sanguíneo de los peces y produce *metahemoglobina*.

Los nitratos son el producto final de la nitrificación y son los menos tóxicos de los compuestos. En sistemas de recirculación, los niveles de estos son normalmente controlados con recambios diarios de agua. Los nitratos pueden llegar a ser tóxicos para los peces solo en concentraciones muy altas, mayores a 300-500 mg/l, aunque determinadas especies pueden tolerar concentraciones de 300 mg/l por varias

semanas. Se recomienda mantener los niveles de nitratos entre 5-150 mg/l y cambiar el agua cuando se superen dichos valores (Somerville, 2014).

Existen dos tipos de bacterias que en conjunto realizan la nitrificación. Estas son generalmente catalogadas como bacterias quimioautótrofas, ya que obtienen la energía de la oxidación de compuestos inorgánicos a diferencia de las bacterias heterótrofas que obtienen energía oxidando compuestos orgánicos. Por un lado, se encuentran las bacterias “Nitrosomonas” que obtienen su energía oxidando amoníaco no ionizado a nitrito y, por otra parte, están las bacterias “Nitrobacter” que ejecutan la oxidación del nitrito a nitrato. Las bacterias nitrificantes son principalmente autotróficas obligadas, que consumen dióxido de carbono, y aeróbicas obligadas, es decir, requieren oxígeno para desarrollarse.

El proceso de nitrificación consta de dos etapas, donde primero el amoníaco se oxida a nitrito y luego el nitrito se oxida a nitrato. Los dos pasos de la reacción se llevan a cabo secuencialmente, ya que la velocidad cinética de reacción de la primera etapa es mayor que la de la segunda etapa. Es por ello por lo que el proceso es usualmente controlado por la oxidación del amoníaco y como resultado no existe una apreciable acumulación de nitrito.



De acuerdo a la Fig. 45, en la puesta en marcha de un biofiltro, las concentraciones de amonio y nitrito llegan a un máximo los días 14 y 28 respectivamente, y la acumulación de nitrato se inicia después de 21 días. La adición de amonio y nitrito al sistema desde el primer día podría acelerar el proceso. Por seguridad, en sistemas nuevos no debe colocarse peces antes de observar una caída en el nivel de nitrito, esto es una indicación de que el reactor está totalmente activado.

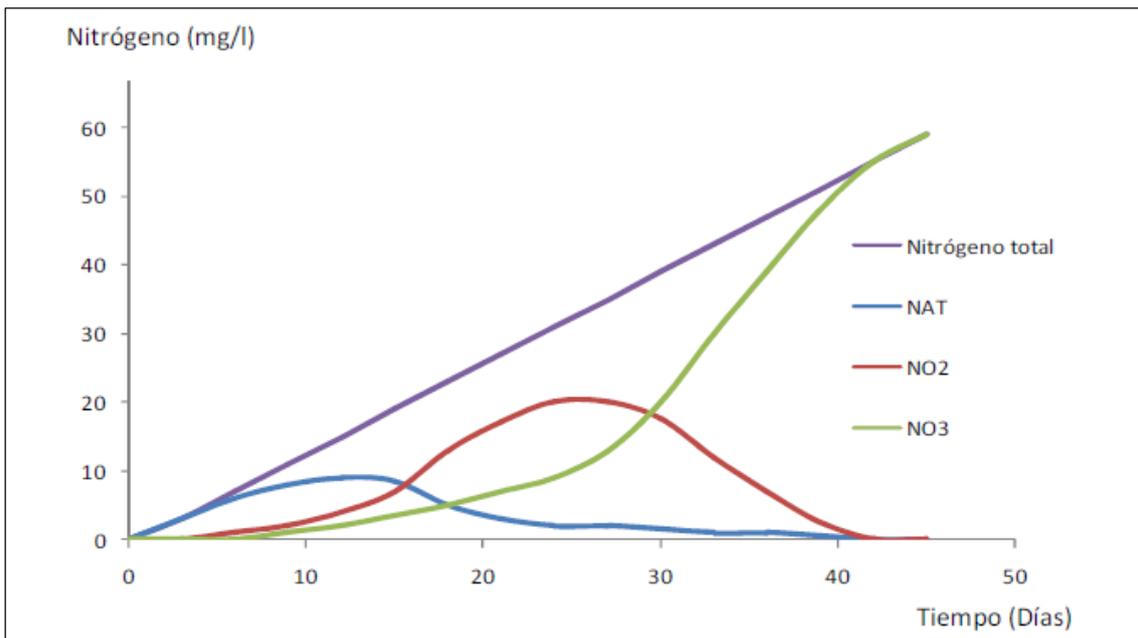


Fig. 45: Concentración de compuestos nitrogenados durante la nitrificación

10.6 Anexo VI: Escuela de acuicultura

La escuela de acuicultura “Productor Acuícola”, ubicada en la localidad bonaerense de San Vicente a unos 58 km de la ciudad de Buenos Aires, es una escuela privada dedicada a la enseñanza de la acuicultura que fue fundada por el especialista Eduardo Catania en el año 1984. Allí se llevan a cabo cursos de capacitación en acuicultura y hasta una diplomatura universitaria certificada por la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Lomas de Zamora, con objetivo de impartir los lineamientos fundamentales de la actividad y comprender los recursos necesarios para ejecutar de forma exitosa un emprendimiento acuícola. A estos cursos asisten desde ingenieros expertos en el tema, hasta emprendedores independientes o aficionados que desean sumar los conocimientos requeridos para la instalación de un pequeño negocio acuícola.

Se agradece al señor Catania por haber recibido al autor de este trabajo en sus instalaciones el día sábado 23 de marzo de 2019, en donde se pudo presenciar una clase, recorrer parte de las instalaciones y consultar dudas sobre la actividad que lleva a cabo desde hace tantos años. En el transcurso de la clase, se transmitieron conceptos clave sobre calidad de agua, alimentación, ingeniería básica y supuestos de producción. Posteriormente, durante un dialogo mantenido con Eduardo Catania, este comunicó que actualmente se está trabajando en reformas importantes en sus sistemas de producción ya que se proyecta iniciar un cultivo acuapónico en las mismas (Ver Figs. 46 y 47). Estas obras se pudieron constatar más adelante en un breve recorrido por el lugar que, el cual se encontraba en excelentes condiciones a pesar de estar en remodelación,



Fig. 46: Escuela de acuicultura “Productor Acuicola” en San Vicente, provincia de Buenos Aires



Fig. 47: Registro fotográfico de las instalaciones de la escuela de acuicultura “Productos Acuicola” en remodelación

La idea fundamental del especialista es promover la acuicultura y formar más productores que el día de mañana conformen una red de cooperación y de apoyo mutuo, que las familias a pequeña escala puedan producir en sus casas y que los empresarios lo hagan en mayor escala. También remarcó la importancia de realizar esta actividad de forma controlada complementándola con otras actividades ganaderas y/o agrícolas para obtener mayores beneficios económicos, a la vez que se hace uso responsable de los recursos naturales. En resumen, difundir la acuicultura en el país y resaltar la importancia de esta actividad para el crecimiento de la agroindustria de manera sustentable.

En el establecimiento, además de realizarse los cursos de capacitación, se desarrollan cultivos comerciales utilizando la última tecnología sistemas de recirculación cerrada (Ver Fig. 48).

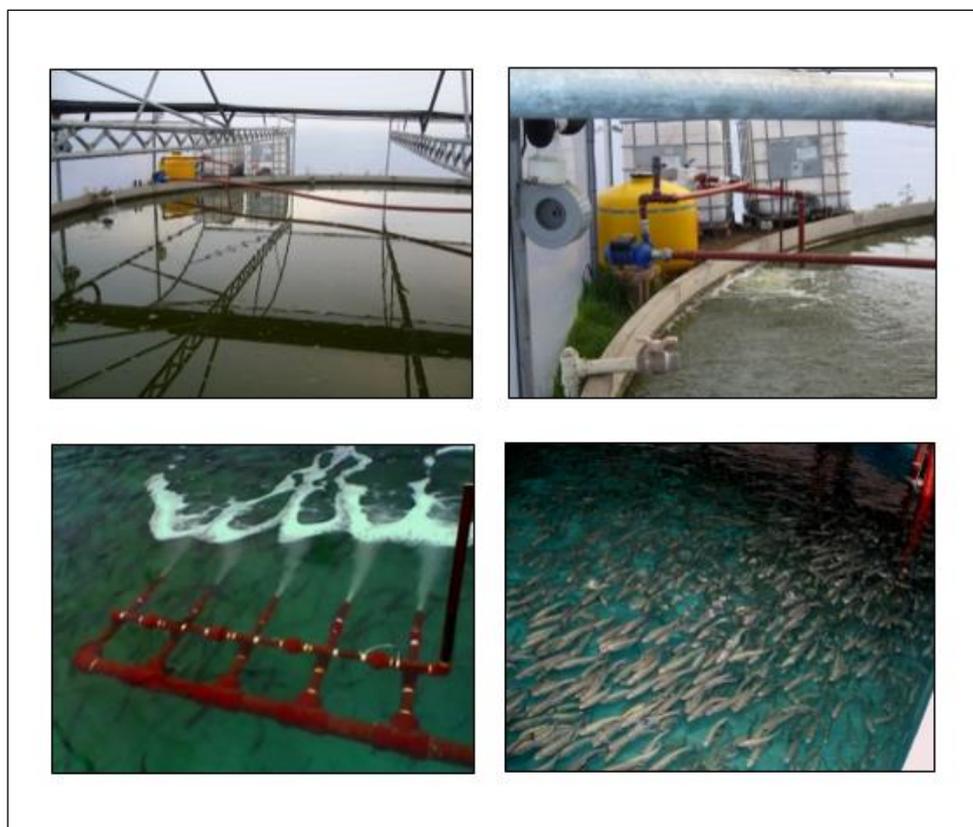


Fig. 48: Sistema RAS de la escuela “Productor Acuícola” (2019)

Si bien la provincia de Buenos Aires, por su clima templado, no es el lugar más indicado para el cultivo de especies rentables de aguas cálidas o frías, al aplicar las tecnologías adecuadas se logra un sistema cerrado sustentable en donde es posible cultivar diferentes tipos de especies, independientemente de las condiciones ambientales del lugar y lograr cierta rentabilidad económica, por ejemplo, de acuerdo a lo mencionado por el señor Catania, el establecimiento ha cultivado exitosamente especies tan variadas como tilapias, truchas, pejerreyes, carpas, etc. Además, mediante el RAS, es posible contar con biomasa en diferentes etapas productivas, es decir, se puede producir y vender todo el año, cuestión que no es posible en sistemas abiertos convencionales que producen por lotes una o dos veces al año como máximo. Esto no solo brinda mayor seguridad al productor sino también mayor rentabilidad y control sobre el sistema productivo.

10.7 Anexo VII: Listado de tablas

Tabla 1: Principales países productores de peces comestibles (FAO, 2018)

Tabla 2: Comparación de legislación acuícola entre las provincias argentinas

Tabla 3: Comparación de la legislación acuícola entre Argentina, Brasil y Chile

Tabla 4: Parámetros de calidad de agua para peces de agua cálida y fría, plantas, bacterias nitrificantes y para el sistema acuapónico

Tabla 5: Comparación de tecnologías acuícolas

Tabla 6: Cronograma de tareas del proyecto

Tabla 7: Matriz de impacto ambiental del proyecto acuícola

Tabla 8: Resumen de parámetros críticos para el Pacú

Tabla 9: Resumen de parámetros críticos para la Trucha Arcoíris

10.8 Anexo VIII: Listado de figuras

Fig. 1: Distribución de la producción acuícola mundial 2016

Fig. 2: Producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura (FAO, 2018)

Fig. 3: Producción ictícola por acuicultura en Argentina, período 1996-2016

Fig. 4: Centros acuícolas de Argentina en 2019 (ReFACUA)

Fig. 5: Producción ictícola de Argentina por provincias en 2016

Fig. 6: Distribución de especies ictícolas producidas en Argentina en 2016

Fig. 7: Producción argentina de Pacú periodo 2006-2016

Fig. 8: Producción argentina de Trucha Arcoíris periodo 2006-2016

Fig. 9: Ubicación de los embalses Alicurá y Piedra del Águila

Fig. 10: Proceso de eutrofización (Jimenez, 2014)

Fig. 11: Sistema eutrofizado

Fig. 12: Sistema de cultivo extensivo

Fig. 13: Sistema de cultivo intensivo

Fig. 14: Sistema de cultivo acuapónico (Acuaponía e hidroponía, 2019)

Fig. 15: Modelo conceptual de un sistema IMTA (Fisheries and Oceans. Integrated Multi-Trophic Aquaculture, 2019)

Fig. 16: Triangulo del desarrollo sustentable

Fig. 17: Luces nocturnas mostrando actividad pesquera a lo largo de la zona económica exclusiva argentina. (NASA Earth Observatory/NOAA National Geophysical Data Center, 2012)

Fig. 18: Harina y aceite de pescado (Coomarpes Ltda.)

Fig. 19: Oxitetraciclina en envase de 22,8 kg (Syndel Laboratories)

Fig. 20: Bomba centrífuga de alto caudal (Pedrollo)

Fig. 21: Difusores de burbuja fina (Repicky)

Fig. 22: Invernadero semicircular con estructura de madera (Portal Frutihortícola)

Fig. 23: Posible ubicación de salmoneras en territorio argentino

Fig. 24: Marea roja en Isla Grande de Chiloé (Chile), febrero de 2017

Fig. 25: Cultivo de salmones en jaulas oceánicas (Rossi, 2018)

Fig. 26: Esquema simplificado de los principales componentes de un RAS

Fig. 27: Esquema de un sedimentador vertical con remoción hidráulica de lodos

Fig. 28: Filtro de arena

Fig. 29: Skimmer o fraccionador de espuma

Fig. 30: Esquema básico de un biofiltro

Fig. 31: Tanques con tratamiento y recirculación de agua en una misma línea

Fig. 32: Tanque con sistema individual de tratamiento y recirculación

Fig. 33: Solubilidad del oxígeno en agua a diferentes temperaturas a 1 atm

Fig. 34: Esquema básico de un sistema acuapónico

Fig. 35: Diseño básico de un sistema de lechos de sustratos (Somerville, 2014)

Fig. 36: Lecho de sustrato de una unidad hidropónica

Fig. 37: Arreglo vertical de la zona hidropónica

Fig. 38: Diseño básico de un sistema NFT (Somerville, 2014)

Fig. 39: Balsas de una unidad hidropónica de un sistema DWC

Fig. 40: Diseño básico de un sistema DWC (Somerville, 2014)

Fig. 41: Diagrama de tortuga para el proceso productivo de Trucha Arcoíris

Fig. 42: Pacú (*Piaractus mesopotamicus*)

Fig. 43: Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*)

Fig. 44: Variación de la relación NH_3/NAT con el pH a diferentes temperaturas

Fig. 45: Concentración de compuestos nitrogenados durante la nitrificación

Fig. 46: Escuela de acuicultura “Productor Acuícola” en San Vicente, provincia de Buenos Aires

Fig. 47: Registro fotográfico de las instalaciones de la escuela de acuicultura “Productos Acuícola” en remodelación

Fig. 48: Sistema RAS de la escuela “Productor Acuícola” (2019)

10.9 Anexo IX: Presentación de Tesis

“GESTIÓN AMBIENTAL EN ACUICULTURA”

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

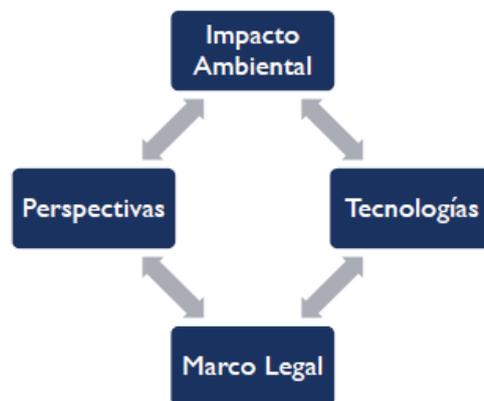
ALUMNO: JUAN E. DOLCEMÁSCOLO

TUTOR: ALFREDO ROSSO

AGOSTO 2020



EJES DE ESTUDIO



OPINIÓN INICIAL

- Actividad con amplio potencial de desarrollo en el país, pero poco explotada.
- Idea general del tipo de impacto ambiental que puede causar pero desconocimiento de su intensidad ¿Son significativos?
- Normativa escasa o inexistente.
- ¿Se podrá desarrollar de manera sustentable?



CONTEXTO

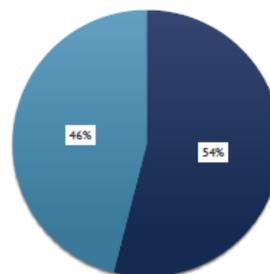


ACUICULTURA EN EL MUNDO

- De acuerdo al informe “**El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura**” de 2020 (informe SOFIA), elaborado por la FAO.



En el año 2018, la producción pesquera mundial alcanzó un máximo de aprox. **179 millones de toneladas**, de los cuales la acuicultura representó un **46%** del total

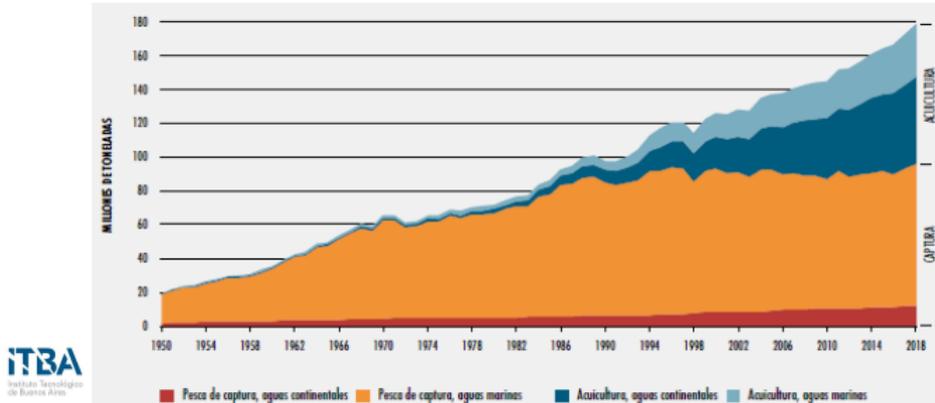


■ Pesca ■ Acuicultura

- Valor total de la producción acuícola en 2018 se estimó en **USD 250.000 millones**.



ACUICULTURA EN EL MUNDO



ACUICULTURA EN EL MUNDO

- Los países asiáticos se encuentran al tope del ranking mundial de productores acuícolas, el cual es liderado ampliamente por **China**, cuya producción es mayor a la del resto del mundo cada año desde 1991.

2° India,

3° Indonesia

4° Vietnam

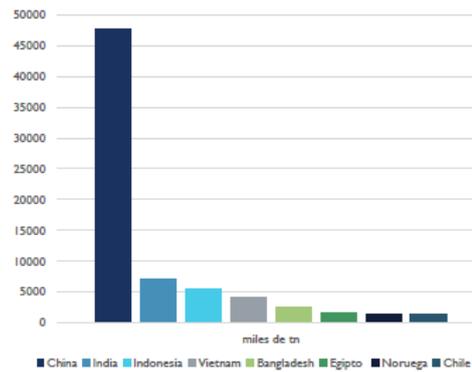
5° Bangladesh,

A nivel regional:

1° Chile (8°)

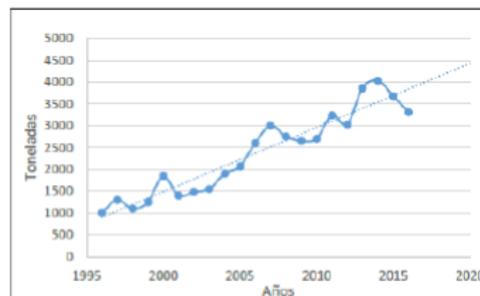
2° Brasil

3° Ecuador



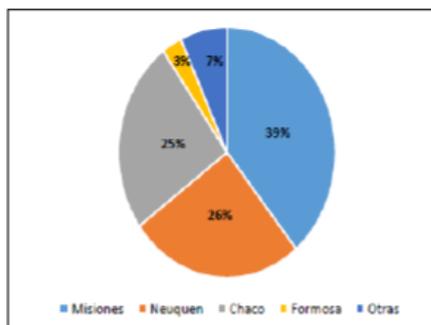
ACUICULTURA EN ARGENTINA

- Según FAO la producción de pescado prevista para nuestro país entre pesca y acuicultura pasaría de unas **839.000 toneladas en 2018**
- Acuicultura ≈ 0,50 %**
- Ritmo de crecimiento aproximado de **200 toneladas anuales** (Max. en 2014 con 4.027 toneladas).



ACUICULTURA EN ARGENTINA

- Se cultivan alrededor de **23 especies** que incluyen peces, moluscos, bivalvos, reptiles y anfibios; concentrando la mayor cantidad de establecimientos en la región noreste argentino (NEA).
- Se contabilizan alrededor de **64 centros productivos** de mediana y gran envergadura.
- El 88 % de la producción nacional fue distribuida solamente entre dos especies; el **Pacú con 1947 ton** y la **Trucha Arcoíris 963 ton**



SISTEMAS PRODUCTIVOS



ARGUMENTOS A FAVOR

- Asegura de forma eficaz y sostenible la provisión de proteínas necesarias para alimentar a un mundo con una población creciente, garantizando la seguridad alimentaria.
- Reduce el impacto de la pesca sobre las poblaciones explotadas a un nivel insostenible y sobre los ecosistemas marinos, evitando su deterioro o destrucción.
- Presenta un gran potencial de desarrollo económico regional, genera nuevos puestos de trabajo y puede combinarse con otras prácticas de cultivo.

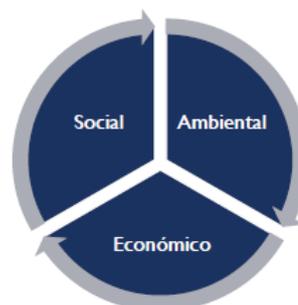


ARGUMENTOS EN CONTRA

- No constituye una práctica sustentable que agravará aún más el problema de la sobrepesca en vez de resolverlo, ya que la mayoría de las especies criadas en cautiverio son carnívoras y se nutren de otras que se pescan en ambientes marinos.
- La cría intensiva de peces propicia la generación de enfermedades, haciendo necesario el uso de antibióticos para combatir dichas enfermedades.
- La calidad de la carne es inferior a la de los pescados provenientes de un ambiente salvaje.



ACUICULTURA SUSTENTABLE



PRINCIPALES IMPACTOS NEGATIVOS

- Alimentos: Harinas y Aceites de pescado
- Antibióticos
- Eutrofización
- Introducción de Especies Exóticas



ACEITES Y HARINAS DE PESCADO

En el año 2018 la mayor parte del 12% del pescado de captura empleado para usos no alimentarios.

Hasta 85% costos operativos

Tasa Fish In – Fish Out (FIFO)

- Hoy se encuentra en valores < 1
- Mejoramiento en la eficiencia del uso de subproductos, que anteriormente se desechaban.
- No tiene en cuenta el contenido de omega 3 ($<$ en pescado cultivado)



ANTIBIÓTICOS

El consumo en exceso provoca el desarrollo de resistencia por parte de bacterias patógenas para el ser humano y otros animales, las cuales pueden causar infecciones más difíciles de tratar.

Medidas para optimizar su utilización:

- Optar por las **vacunas** (suministro directo y preciso)
- Emplear **servicios veterinarios**
- Desarrollar un **plan de salud veterinaria**
- Permanecer en **barbecho** durante un período todos los años



EUTROFIZACIÓN Y EFLUENTES

Restos de alimento balanceado no consumido

+ Descomposición de organismos muertos

+ Excretas de los animales

- **Implementar sistemas RAS** → Uso más eficiente del agua y reduce drásticamente la generación de efluentes líquidos.
- **Alimentos de alta calidad** con mínima cantidad de “finos” o polvo de alimento.
- **Determinar el consumo efectivo**, supervisar periódicamente la ingesta de alimentos.
- **Desinfectar** el agua y los efluentes para reducir el riesgo de propagación de enfermedades



ESPECIES EXÓTICAS

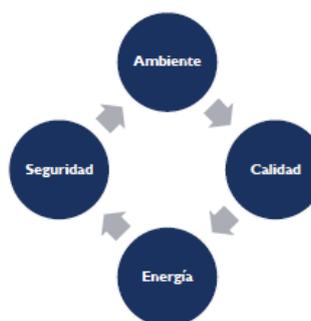
La introducción de especies exóticas suele afectar negativamente al ecosistema local, pudiendo generar el declive o extinción de especies autóctonas.

- Cría de **peces estériles**, para evitar su reproducción.
- **Monitoreo constante** de los individuos en el recinto de cría.
- **Instalación de rejas** o mallas para impedir la entrada y salida de las especies acuáticas.
- Diseñar un **plan de contingencia** en caso de que se produzca un escape de especímenes acuícolas exóticos.



OTRAS RECOMENDACIONES

- Implementar un **SGI** y **BPM** en Acuicultura
- Incorporar aspectos ambientales desde el inicio del proyecto.
- Incorporar asistencia veterinaria profesional.
- Trabajar por debajo de la **Capacidad de Carga** del sistema.
- **Compartir Recursos** con otras actividades.
- Implementar programas de **RSE** dirigidas a la comunidad énfasis en educación.



NORMATIVA



LEY NACIONAL N°27231

Marco normativo para el fomento y la regulación de la acuicultura sustentable.

→ Reglamentada en 2017 a través del decreto 692/17



ALGUNOS PUNTOS CLAVE

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca como AA y SENASA a cargo de sanidad animal.

- Las provincias y la nación deberán determinar la **Capacidad de Carga** de los sistemas a explotar.
- Exigencia de **EIA** en proyectos considerados de riesgo grave por la AA.
- Creación del **RENACUA**
- Creación del **FONAC**



SITUACIÓN EN LAS PROVINCIAS

- Previo a la aprobación de la ley 27.231, la mayoría de las provincias con potencial acuícola contaban con algún tipo de normativa que reglamentaba la actividad en su territorio.
- Provincias que han adherido: **Corrientes, Neuquén, Río Negro, Santa Cruz, Santa Fe y Tierra del Fuego.**
- Provincias en proceso de adhesión: **Entre Ríos, Mendoza y Misiones** han presentaron proyectos de ley para adherir a la ley nacional.
- Provincias con bajo nivel de reglamentación: **Formosa, La Pampa, Salta, San Luis y Santiago del Estero**, cuyas normas se enfocan en la conservación de la fauna, la caza y la pesca, y se remontan a los años 70.



COMPARACIÓN REGIONAL: BRASIL Y CHILE

BRASIL

- Producción anual **605.000 ton** principalmente la Tilapia y camarones.
- **13°** Productor acuícola a nivel mundial
- Producción heterogénea y poco industrializada.
- La ley nacional **11.959 Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca**, fue sancionada en el año **2009**.

CHILE

- Producción anual **1.266.000 ton** principalmente Salmon del Atlántico y del Pacífico.
- **8°** Productor acuícola a nivel mundial.
- Los productos acuícolas ocupan el segundo lugar en exportación después del cobre.
- Rige la “Ley General de Pesca y Acuicultura” **21.033**.



Cuadro Comparativo	Argentina	Brasil	Chile
Ley	Ley Nacional N°27.231: Desarrollo Sustentable del Sector Acuicola (Reglamentada en 2017)	Ley Nacional 11.959: Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca (2009)	Ley N°21.033: Ley General de Pesca y Acuicultura (2017).
Foco	Exclusivamente en la actividad acuícola.	Principalmente en los recursos pesqueros.	Recursos hidrobiológicos (Pesca y Acuicultura).
Normativa anterior	Excepto en ciertas provincias, solo orientada hacia los recursos pesqueros.	Prácticamente solo orientada hacia los recursos pesqueros.	Más de 30 años de legislación sobre acuicultura.
Incentivos	Beneficios económicos e impositivos hasta el año 2027 (FONAC).	Estímulos a la actividad pesquera, incluyendo también a los productores acuícolas	Financiación a proyectos de investigación pesquera y de acuicultura.
Antibióticos	El SENASA es la autoridad encargada de su control.	No hay mención específica sobre su control.	Establece la obligación de tomar medidas para vigilar y controlar su aplicación.
Puntos clave	- Desarrollo de la acuicultura sustentable. - Registro de productores. - Estímulos a la producción y fomento del sector acuícola.	- Desarrollo sustentable de la pesca y acuicultura. - Consideración de empresas acuícolas como pesqueras. - Estímulos económicos.	- Protección de los recursos hidrobiológicos. - Áreas destinadas a la producción acuícola y concesiones. - Uso de antibióticos.

TECNOLOGIA DE PRODUCCION RAS

SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN EN ACUICULTURA (RAS)

Brinda soluciones técnicas para lograr la disminución de impactos ambientales por minimización de los residuos provenientes de los cultivos y muy especialmente, la conservación del agua.

Ventajas

- Posibilidad de localizar los cultivos cerca del mercado.
- Reducción de uso del suelo y agua.
- Mayor bioseguridad y calidad del producto.
- Control de la biomasa piscícola con la posibilidad de mayores cargas en los cultivos.
- Controlar variables del ambiente de cría.

Desventajas

- Elevado costo de inversión relativo.
- Elevada complejidad de operación.

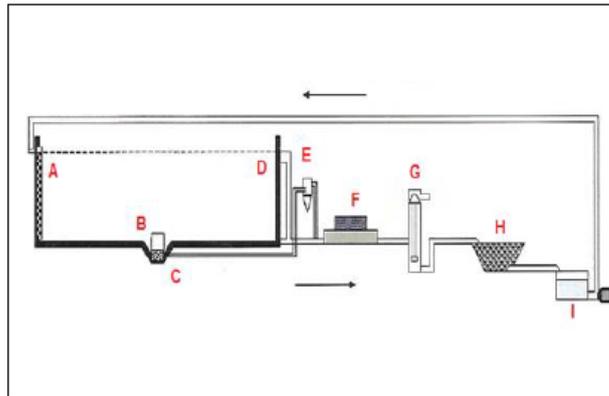


Control inadecuado del sistema, proliferación de enfermedades y pérdidas económicas significativas.



COMPOSICIÓN DE UN SISTEMA RAS

- Tanques de cultivo
- Decantador/Sedimentador
- Filtros mecánicos
- Fraccionador de espuma
- Biofiltro
- Sistema de suministro de oxígeno
- Sistema de bombeo
- Unidad de cuarentena



PUNTOS A CONSIDERAR

- A) Remoción de sólidos** → Cada 100 kg de ración se genera 20-30 kg de sólidos
- Aumenta la necesidad de retrolavados y limpieza.
 - Aumento de los costos operativos (circulación de agua en el filtro biológico y en el sistema)
 - Mayor inversión (Biofiltros y Aereación)
- B) Nitrificación** → Se consumen cerca de 4,6 g de O₂ por cada gramo de NH₃ oxidado a NO₃⁻
- Se produce CO₂ y generación de acidez en el medio promueve una gradual reducción del pH
- C) Oxigenación** → 1 kg de ración ofrecida, se consumen:
- 250 g de O₂ de manera directa por los peces.
 - 140 g de O₂ de manera indirecta por nitrificación
- D) Desinfección** → Métodos físicos (UV - calor) o químicos (Ozono - Cloro)



PROPUESTA DE GESTION



DESARROLLO DE UN PROYECTO ACUÍCOLA

- 1° Descripción del proyecto
(Tecnología – Localización – Etapas – Objetivos)
- 2° Presentar un cronograma de proyecto
- 3° Gestión de recursos y residuos
 - Fuentes de energía y consumos
 - Fuentes de agua, calidad y cantidad
 - Gestión de residuos y efluentes
- 4° Identificación de autoridades y análisis de normativa aplicable



DESARROLLO DE UN PROYECTO ACUÍCOLA

- 4° Identificación de acciones impactantes por etapa
- 5° Generación de matriz de impacto ambiental
Se determinan los impactos significativos (Extracción de vegetación, excavaciones, operación y mantenimiento)
- 6° Caracterización de impactos significativos
De acuerdo a Magnitud – Duración – Dispersión – Reversibilidad
- 7° Desarrollo de un PGA
Programas: Gestión de obra – Gestión de residuos – Monitoreo ambiental – Comunicación social



CONCLUSION



CONCLUSIÓN Y OPINIÓN FINAL

- Potencial de **proveer alimentos** de alta calidad nutricional a una población mundial en crecimiento exponencial.
 - Existe una amplitud de **impactos ambientales**, pero aplicando sistemas de gestión adecuados y tecnología acorde es posible mitigarlos sustancialmente.
 - La calidad de los **alimentos balanceados** utilizados en acuicultura ha mejorado notablemente en los últimos años.
 - El consumo de **antibióticos** puede ser reducido considerablemente aplicando buenas prácticas de manufactura acuícolas.
 - Existe **legislación** al respecto pero es poco conocida por los productores.
 - La técnica de **cultivo tipo RAS** presenta las mejores perspectivas de producción sustentable.
-

GRACIAS POR SU ATENCIÓN!



Bibliografía

- Candarle, P. (2016). *Técnicas de acuaponía*. Santa Ana, Provincia de Corrientes: Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC), Dirección de Acuicultura.
- Centro de estudios para el desarrollo y la participación. (2009). *Manual de crianza de Truchas*. Ragash, Perú: CEDEP.
- Corporación Financiera Internacional. (2007). *Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para la acuicultura*. Washington D.C.: Corporación Financiera Internacional.
- Díaz, S., Settele, J., & Brondízio, E. (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. París: IPBES.
- Dirección provincial de medio ambiente de Neuquén. (2005). *Plan provincial de acuicultura*. Neuquén.
- Escuela de acuicultura: productor acuícola. (23 de Marzo de 2019). Obtenido de <https://www.productoracuicola.com.ar>
- FAO. (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos del desarrollo sostenible*. Roma: FAO.
- FCH Fundación Chile. (07 de Marzo de 2016). *¿Qué es la acuicultura?* Obtenido de <https://fch.cl/que-es-la-acuicultura/>
- Garcés, J. (27 de Junio de 2017). *Chile puede llegar al nivel de uso de antibioticos que tiene Noruega*. Obtenido de <https://www.salmonexpert.cl/article/chile-puede-llegar-al-nivel-de-uso-de-antibioticos-que-tiene-noruega/>
- Government of Canada. (20 de Abril de 2019). *Fisheries and Oceans. Integrated Multi-Trophic Aquaculture*. Obtenido de <http://www.dfo-mpo.gc.ca/aquaculture/sci-res/imta-amti/index-eng.htm>
- Green Fresh. (20 de Abril de 2019). *Acuaponía e hidroponía*. Obtenido de https://green-fresh.cl/productos/acuoponia_hidroponia/
- Hardy, R. W. (2003). *Farmed fish and omega-3 fatty acids*. Idaho: Aquaculture Magazine: 3.
- Hurtado, N. (8 de Abril de 2013). *Sistemas de producción en acuicultura en el Perú*. Perú.
- Infobae. (15 de Julio de 2018). *La Argentina busca clasificarse al "Mundial" del cultivo de peces*. Obtenido de <https://www.infobae.com/campo/2018/07/15/la-argentina-busca-clasificarse-al-mundial-del-cultivo-de-peces/>

- Jackson, A. (2009). *Fish In - Fish Out ratios explained*. Aquaculture Europe, vol. 34 (3): 5-10.
- Jimenez, N. (22 de Noviembre de 2014). *Eutrofización, problema mundial*. Obtenido de <http://wildbioblog.blogspot.com.ar/2014/11/eutrofizacion-problema-mundial.html>
- Kubitza, F. (2006). *Sistemas de recirculación cerrada*. Buenos Aires: Ministerio de Agroindustria.
- Kubitza, F. (2010). *Os caminhos para uma piscicultura sustentável*. Rio de Janeiro: Panorama da Aquicultura, vol. 20 n°119.
- Lei n° 11.959: Política nacional de desenvolvimento sustentável da aquicultura e da pesca (Brasil, 29 de Junio de 2009).
- Ley n° 21.033: Ley general de pesca y acuicultura (Chile, 05 de Julio de 2017).
- Ley Nacional 27.231: Desarrollo sustentable en el sector acuícola (Buenos Aires, Argentina. Promulgada el 29 de Diciembre de 2015).
- Luchini, L., & Panné Huidobro, S. (2008). *Perspectivas en acuicultura: nivel mundial, regional y local*. Buenos Aires: Dirección de Acuicultura. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Ministerio de Agroindustria.
- Ministerio de Agroindustria . (2018). *Análisis de los costos de una producción de trucha arco iris en sistema intensivo en jaulas flotantes*. Buenos Aires: Ministerio de Agroindustria .
- Monja, M. B. (26 de Septiembre de 2016). *Brasil, el despertar de un coloso en la acuicultura mundial*. Obtenido de <https://www.aquahoy.com/91-editorial/opinion/27452-brasil-el-despertar-de-un-coloso-en-la-acuicultura-mundial>
- NASA Earth Observatory/NOAA National Geophysical Data Center. (05 de Diciembre de 2012). *NASA*. Obtenido de https://www.nasa.gov/mission_pages/NPP/news/earth-at-night.html
- Pacic, A. (2010). *Cría de Pacú en cautiverio*. Saenz Peña, Chaco: INTA Centro Regional Chaco Formosa. Serie Piscicultura.
- Panné Huidobro, S. (2017). *Producción por acuicultura en Argentina en el 2016*. Buenos Aires: Dirección de Acuicultura. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Ministerio de Agroindustria.
- Panné Huidobro, S., & Luchini, L. (2012). *Análisis económico para la producción de "Trucha Arco-iris"*. Buenos Aires: Dirección de Acuicultura. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.
- Rossi, M. F. (15 de Mayo de 2018). *Las salmoneras buscan las pristinas aguas de Tierra del Fuego*. Obtenido de <http://www.elrompehielos.com.ar/las-salmoneras-buscan-las-pristinas-aguas-de-tierra-del-fuego>

- Sabsay, D. A., & Di Paola, M. E. (2009). *Coordinación y armonización de las normas ambientales en la República Argentina*. Revista de derecho de daños, 137-162.
- Sabsay, D. A., & Onaindia, J. M. (2009). *La constitucion de los argentinos*. Buenos Aires: Errepar.
- SAGPyA. (2006). *Sistemas de recirculación en acuicultura*. Buenos Aires: Sitio argentino de producción animal.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). *Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant production*. Rome: FAO fisheries and aquaculture technical paper, 589.
- Tacon, A. G., & Metian, M. (2008). *Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and futures prospects*. Aquaculture, volume 285: 146-158.
- Terpstra, A. (2015). *The use of fish meal and fish oil in aquaculture and calculation of the Fish-In-Fish-Out (FIFO) ratio. An overview of data from the literature and the internet*. Obtenido de:
<http://www.tilapiastichting.nl/brochure.html>.
- Todo Noticias. (04 de Octubre de 2018). Chile, estremecida tras la fuga de casi 700 mil salmones inyectados con antibióticos no aptos para consumo humano. Obtenido de Todo Noticias: https://tn.com.ar/internacional/chile-estremecida-tras-la-fuga-de-casi-700-mil-salmones-inyectados-con-antibioticos-no-aptos-para_902802