UCA
Ingeniería y Ciencias Agrarias

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA

Ingeniería Agronómica

Análisis económico de un planteo productivo acuapónico sobre un sistema de recirculación acuícola en provincia de Buenos Aires

Trabajo final de graduación para optar por el título de Ingeniero Agrónomo

Autor: Pablo Fort Veckiardo

Tutor: Ingeniero zootecnista Ernesto Benavídez

Resumen

La cría de organismos acuáticos para consumo viene creciendo sostenidamente desde hace décadas a nivel mundial. Dentro de la acuicultura, la acuaponia es una técnica innovadora que combina la producción de peces y plantas de manera integrada, sin liberación de desechos al ambiente, con eficiente uso del agua y reduciendo la presión pesquera sobre los océanos y ríos. En Argentina la adopción de estos sistemas viene aumentando lentamente, teniendo amplias ventajas competitivas para su pleno florecimiento. Con el objetivo de esclarecer sobre el desarrollo de la acuaponia en la provincia de Buenos Aires, el presente trabajo consiste en la proyección de un sistema acuapónico sobre uno acuícola ya existente en un establecimiento en la cuidad de Bolivar, para lo cual, se elaboró un planteo productivo y un margen bruto de la nueva actividad. En cuanto al planteo productivo, la forma más precisa de calcular la cantidad de plantas que se pueden cultivar a partir de una cierta cantidad de peces es a través de la cantidad de alimento diario que ingresa al sistema. El coeficiente de la tasa de alimentación indica la proporción alimento-plantas: gramos de alimento diario para peces por cada metro cuadrado de espacio de cultivo. Para un sistema de técnica de película nutritiva (NFT) varía entre 15 y 25 g/m^2/día. El dimensionamiento del biofiltro también debe calcularse en base a la cantidad de alimento diario. En cuanto al análisis económico, el principal ingreso de la acuaponia es la producción de plantas, y el principal costo los plantines. El autoabastecimiento de plantines mediante producción propia implicaría una fuerte disminución de los costos; y la incorporación de un biodigestor para generar energía a partir de los desechos de los peces sería una opción beneficiosa para aumentar la productividad.

Palabras clave: acuaponia, acuicultura, sistema de recirculación de agua (RAS), tilapia, margen bruto.

A mi abuela materna, Josefina De Césare

A mi abuelo materno, Juan Carlos Verea

A mi abuela paterna, Elda Veckiardo

A mi abuelo paterno, Helio Fort

Agradecimientos

Al ingeniero zootecnista Ernesto Benavídez, tutor de esta tesis, por su generoso acompañamiento, supervisión y patrocinio.

Al C. P. Germán Behrens, por ofrecer desinteresadamente su establecimiento productivo como tema para el desarrollo de esta tesis.

A Eduardo Catania, director de la escuela Productor acuícola, por brindar generosamente sus conocimientos y prácticas durante el cursado de la diplomatura.

A la doctora en ciencias biológicas Débora Azevedo de Carvalho, investigadora del Conicet, por el aporte desinteresado de bibliografía.

INDICE

Glosario **7**
1. Introducción **8**
2. Estado de la acuicultura y la pesca en el mundo **11**
a. Producción y consumo 11
b. La acuicultura mundial 11
Especies acuáticas producidas 12
Principales países productores 13
c. Sustentabilidad de la pesca marina 14
d. Harinas y aceites de pescado 14
e. Comercio internacional: exportaciones e importaciones 15
3. Estado de la acuicultura en Argentina **16**
a. Producción y consumo 16
b. Provincias productoras 16
c. Especies producidas 17
d. Breve reseña histórica 19
4. Acuaponia: hidroponia + acuicultura con recirculación de agua **21**
a. Descripción del sistema 22
Flujo de agua 24
Remoción de desechos sólidos 24
Nitrificación 25
b. Tilapia 26
Parámetros físico-químicos 26
5. Análisis de caso y objetivos **28**
6. Desarrollo **29**
a. Planteo productivo 29
Dimensionamiento del biofiltro 29
Producción de plantas 30
b. Margen bruto y resultado 31
Tipo de cambio 31
Ingreso bruto 32
Costos directos 32
Amortizaciones 33
Resultado 33
7. Conclusión **35**
Temas abiertos **36**
Bibliografía **37**
Anexos **39**

Glosario

Acuaponia: integración de la acuicultura y la hidroponia. Es el cultivo de peces y plantas en un sistema de recirculación cerrado.

Acuicultura: cría y producción de organismos acuáticos, incluyendo peces, moluscos, crustáceos, anfibios, reptiles y plantas acuáticas.

Acuicultura costera: acuicultura que se practica en estructuras total o parcialmente artificiales en zonas adyacentes al mar, como estanques costeros y lagunas cerradas. En la acuicultura costera con agua salina, la salinidad es menos estable que en la maricultura, debido a las precipitaciones y la evaporación, que dependen de la estación y la zona geográfica.

Acuicultura marina o maricultura: acuicultura se lleva a cabo en el mar, en un entorno de agua marina. Según las especies, el ciclo de producción se realiza totalmente en el mar; o, en el caso de especies cuyo estadio inicial se realiza en instalaciones de incubación y cría, incluso en agua dulce, la maricultura representa la fase de crecimiento del ciclo de producción.

Alevín: estado larval de los peces que va desde la eclosión hasta el final de la dependencia del vitelo como fuente de nutrición.

Amoníaco: compuesto químico (NH_3) producto de la excreción por las branquias de los peces, la orina y de la descomposición de la materia orgánica (degradación de la materia vegetal y de las proteínas del alimento no consumido). El amoníaco es tóxico.

Amonio: compuesto resultante de la combinación, en el agua, de un catión hidrógeno (H^+) con el amoníaco (NH_3). El grado en que el amoníaco forma ion amonio depende del pH de la solución y de la concentración de amoníaco. El amonio es tóxico para los peces, incluso a muy bajas concentraciones.

Diádromos (peces): peces que migran entre agua dulce y salada. Entre sus principales motivos está completar su ciclo biológico: reproducción.

Factor de conversión alimenticia: cantidad de alimento consumido, medido en kilos, para producir un kilo de peso del organismo.

Hidroponia: cultivo de plantas sin el uso del suelo.

Maricultura: ver acuicultura marina.

NFT (Nutrient film technique; técnica de película nutritiva, en español): técnica hidropónica en la cual las plantas reciben a través de las raíces desnudas todos los nutrientes necesarios disueltos en una corriente de agua dentro de canaletas.

Nitrato: compuesto final (NO_3) resultante del proceso de nitrificación, el cual puede ser absorbido por las plantas. El nitrato solo es tóxico a concentraciones muy altas.

Nitrificación: proceso de oxidación en el que el amoníaco, en forma de amonio en el agua, se transforma a nitrato.

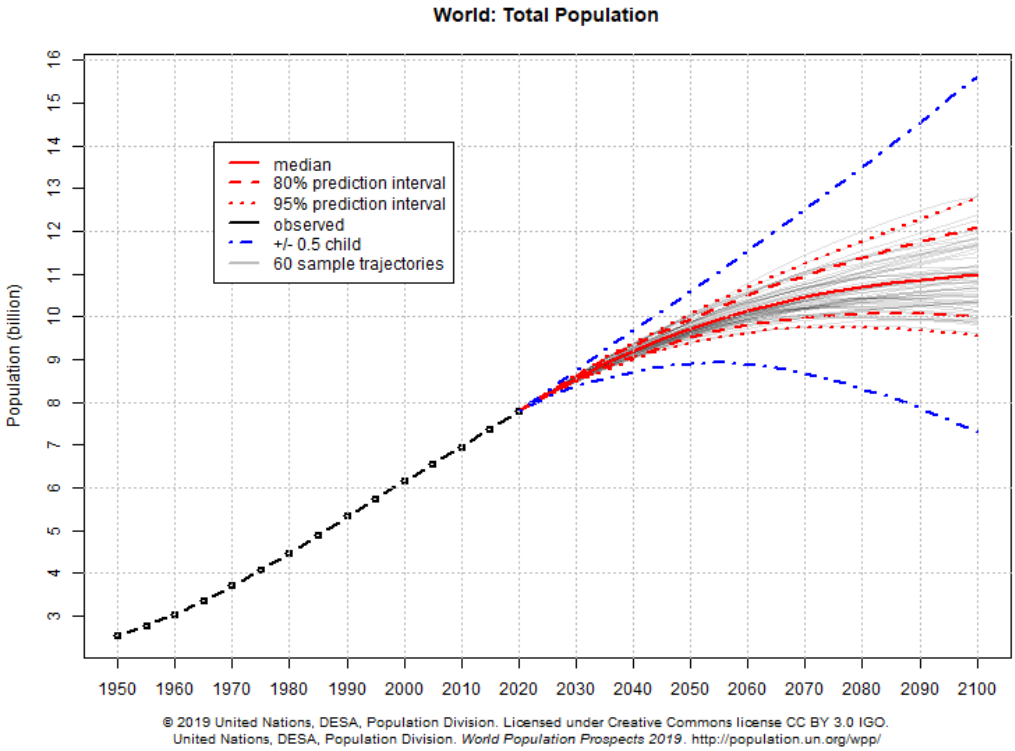
Nitrito: compuesto intermedio (NO_2) que se genera durante el proceso de nitrificación. El nitrito es tóxico para los peces, incluso a muy bajas concentraciones.

Pelágicas (especies): especies que habitan el piélago, es decir, toda la superficie perteneciente a la columna de agua del océano abierto, más allá de la plataforma continental.

1. Introducción

En la actualidad, alrededor de 7,7 mil millones de personas habitan el planeta Tierra. Según la media de estimaciones se podría superar los 10 mil millones de personas para finales del siglo XXI (Ver gráfico 1), incluso las más extremas proyectan cerca de 16 mil millones (UN Department of Economics and Social Affairs, 2015). Sin embargo, otros demógrafos sostienen que el crecimiento de la humanidad podría estancarse o incluso decrecer, debido a que en casi todos los países de América, Europa, Asia Oriental y Oceanía la tasa de fecundidad ya cayó por debajo de 2,1 hijos por mujer en los últimos años, el umbral necesario para el mantenimiento de la población[1]. De modo que el panorama es incierto y dependerá principalmente del crecimiento demográfico en África subsahariana en las próximas décadas (Ver gráfico 2) y de cómo evolucione su tasa de fertilidad (Roser, 2020). Aun en este segundo escenario, la población mundial seguirá creciendo hasta mediados de siglo debido al efecto de inercia poblacional.

Gráfico 1 – Distribución de las proyecciones de crecimiento de la población mundial, ONU.

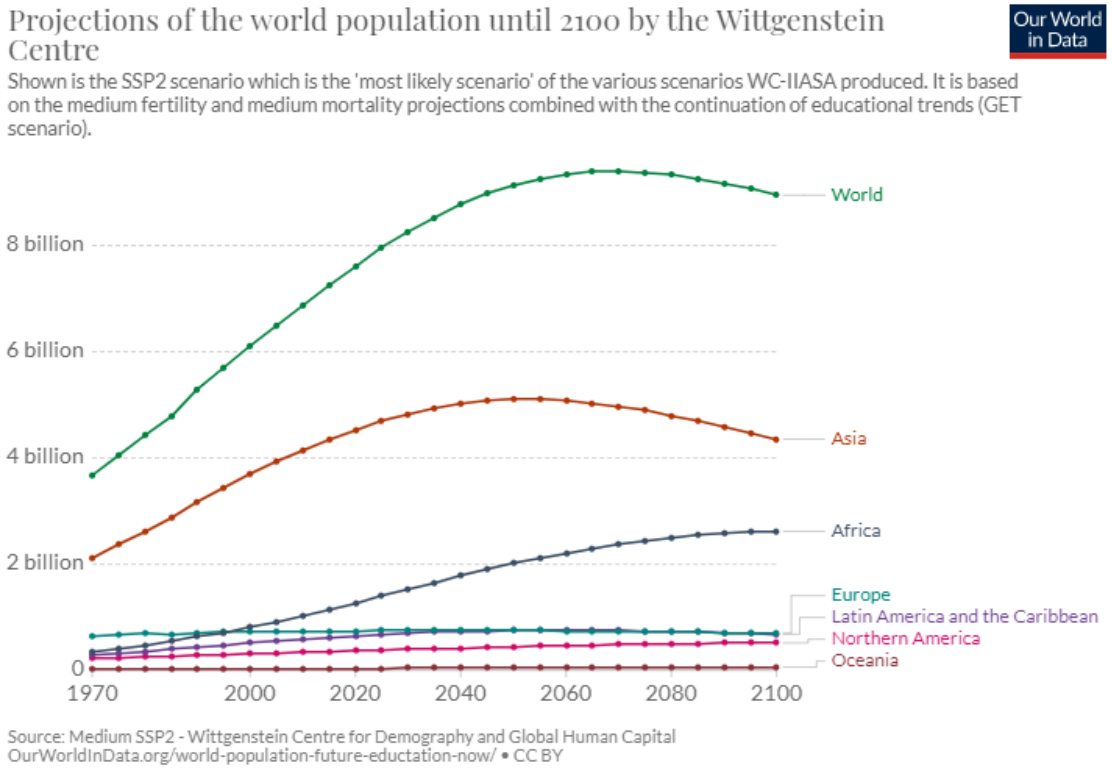


El futuro crecimiento demográfico junto con el incremento de la urbanización (por primera vez en la historia, en el año 2007 la población que vive en áreas urbanas superó a la que vive en áreas rurales, y se estima que para el año 2050 más de 2 tercios de la población mundial vivirá en ciudades (Ritchie & Roser, 2018)), el crecimiento económico

[1] La tasa de fertilidad necesaria para lograr una población estable, fertilidad de reemplazo, es de 2,1 hijos por mujer para países desarrollados. No es 2, ya que, biológicamente, nacen entre un 5 y un 10% más de hombres que de mujeres. Además se debe contemplar la tasa de mortalidad infantil, ya que son personas que mueren antes de la edad reproductiva, la cual en los países desarrollados es muy baja. En países donde la tasa de mortalidad infantil es muy alta, la tasa de fertilidad de reemplazo puede ser 2,4 hijos por mujer o superior. La tasa de fertilidad actual de la población mundial es de 2,4 hijos por mujer.

con el consecuente aumento de los ingresos y la expansión de la clase media, los adelantos tecnológicos y la diversificación de la dieta, proyectan una expansión de la demanda de alimentos, y en particular de productos de origen animal (FAO, 2020). Con lo cual, lograr una producción de alimentos de calidad que garantice la seguridad alimentaria mundial para el año 2050, con el simultáneo cuidado del medio ambiente, es uno de los desafíos presentes de la humanidad.

Gráfico 2 – Proyecciones de crecimiento de la población mundial desagregado por continentes, Centro Wittgenstein.



Frente a este panorama futuro, la acuicultura es una fuente global de proteínas cada vez más importante (Somerville et al., 2014), que ya suministra más de la mitad del pescado para consumo humano del mundo. Los avances científicos en acuicultura logrados durante los siglos XX y XXI permitieron un crecimiento sin precedentes (FAO, 2020), que aumentó la producción de 3,53 millones de toneladas en 1970 (Roser & Ritchie, 2021) a 114,5 millones en 2018, incluyendo animales acuáticos y algas. En los últimos 50 años, la expansión del comercio internacional ha confirmado su importante rol en el sector mundial de la pesca y la acuicultura como un factor impulsor del crecimiento económico (FAO 2020). En este contexto, Argentina tiene un gran potencial para la producción acuícola: dispone de recursos naturales, condiciones agroclimáticas propicias y aguas de calidad; su diversidad climática permite producir una amplia variedad de especies; cuenta con acceso disponible a insumos para la producción de alimento balanceado; posee instituciones de enseñanza, investigación y desarrollo; y a todo esto se suma la imagen positiva que tiene la Argentina como país productor de alimentos (Panné Huidobro, 2019).

La acuicultura tiene el potencial de disminuir la presión sobre las pesquerías del mundo y de reducir significativamente la huella de los sistemas de cría de animales terrestres menos sostenibles en el suministro de proteína animal a los seres humanos (Somerville et al., 2014). Sin embargo, también se han registrado efectos ambientales perjudiciales

como conflictos sociales entre los usuarios de la tierra y del agua, la destrucción de hábitats (por ejemplo, manglares), el uso inapropiado o excesivo de productos químicos y medicamentos veterinarios, el efecto de las fugas en las poblaciones naturales, y la producción ineficiente o insostenible de harina y aceite de pescado (FAO, 2020). Todos los efectos adversos surgidos en el desarrollo de la acuicultura pueden superarse mediante el impulso a la investigación científica y la innovación.

Entre los desarrollos innovadores están los sistemas de acuaponia, que son sistemas de acuicultura acoplados a un módulo de hidroponia, donde bacterias transforman las excretas de los peces en nutrientes para las plantas (Panné Huidobro, 2019). El sistema de recirculación de agua en acuicultura es el más eficiente en el uso del agua y la energía que ingresa al sistema, pero libera efluentes que pueden contaminar el medio ambiente si no son tratados. Además, cuando se liberan los desechos al medio ambiente se pierde energía del sistema. Al ensamblar la hidroponia, en acuaponia se aprovecha esa energía dentro del sistema para el cultivo de plantas, y mediante el cultivo de bacterias y gestión de los subproductos se puede obtener energía eléctrica. De esta forma, haciendo un uso más eficiente de la energía: se aumenta la productividad, disminuyen los insumos de producción, se reducen los tiempos de cosecha, se previenen patologías y no se contamina el ambiente.

Sin embargo, la acuaponia es aún una actividad con un desarrollo relativamente incipiente, en etapa de permanente experimentación en cuanto a la mejora en los procesos productivos, selección de las especies a producir tanto de peces como de plantas, etcétera. Es ampliamente adoptado por pequeños productores, principalmente, a modo de divertimento en el patio trasero de sus casas (Rakocy, 2012). Uno de los desafíos para que sea concebido comercialmente, favoreciendo un sistema de producción de alimentos de calidad más sustentable, es que sea rentable a pequeña y mediana escala. De este modo, el propósito de la presente tesis es contribuir a esclarecer sobre el tema de la rentabilidad en la acuaponia.

2. Estado de la acuicultura y la pesca en el mundo

a. Producción y consumo

Según las estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2020) la producción mundial de pescado ha alcanzado unos 179 millones de toneladas en 2018, de los cuales 156 millones de toneladas (88%) se destinaron al consumo humano, lo que equivale a un suministro anual estimado de 20,5 kg per cápita (Ver anexo 1); y los 22 millones de toneladas restantes se destinaron a usos no alimentarios, principalmente para la producción de harina y aceite de pescado. En cuanto a la distribución regional de la producción mundial: China registró el 35% de la producción mundial de pescado en 2018 y es el principal productor. Con una proporción similar le sigue el resto de Asia (34%), luego América (14%), Europa (10%), África (7%) y Oceanía (1%). Se estima que, en 2018, trabajaban, ya sea a tiempo completo o parcial o en forma ocasional, 39 millones de personas en el sector primario de la pesca de captura y 20,5 millones de personas en la acuicultura: un total de 59,51 millones de personas. Del total general, la acuicultura representó el 46% de la producción mundial (82,1 millones de toneladas) y el 52% del pescado para consumo humano.

El consumo mundial de pescado comestible[2] aumentó a una tasa media anual del 3,1% entre 1961 y 2017, una tasa que prácticamente duplica el crecimiento de la población mundial anual (1,6%) durante el mismo período, y que es superior a aquella de todos los demás alimentos que contienen proteínas de origen animal (carne, productos lácteos, leche, etc.), que aumentó un 2,1% anual. El consumo de pescado comestible per cápita aumentó de 9 kg (equivalente en peso vivo) en 1961 a 20,5 kg en 2018, aproximadamente un 1,5% anual. Desagregado por criterios socio-económicos: en los países desarrollados, el consumo aparente de pescado aumentó de 17,4 kg per cápita en 1961 a un máximo de 26,4 kg per cápita en 2007, y luego disminuyó gradualmente hasta llegar a 24,4 kg en 2017. En los países en desarrollo, el consumo aparente de pescado creció significativamente, de 5,2 kg per cápita en 1961 a 19,4 kg en 2017, a una tasa media anual del 2,4%, es decir, por encima del promedio mundial. En los países de bajos ingresos y con déficit de alimentos, el consumo de pescado aumentó de 4 kg en 1961 a 9,3 kg en 2017, a una tasa media anual estable de alrededor del 1,5%. En 2017, el consumo de pescado representó el 17% de la ingesta de proteínas animales de la población mundial y el 7% de todas las proteínas consumidas.

b. La acuicultura mundial

De los 179 millones de toneladas de producción mundial de pescado en 2018, la acuicultura mundial alcanzó el 46% (82,1 millones de toneladas), frente al 25,7% en 2000. A nivel regional, la proporción de la acuicultura en la producción pesquera de Asia (excepto China) alcanzó el 42% en 2018, frente al 19,3% en 2000; la acuicultura representó el 17,9% de la producción pesquera total de África, el 17% de Europa, el 15,7% de las Américas y el 12,7% de Oceanía.

En 2018, la producción mundial de la acuicultura alcanzó 82,1 millones de toneladas de animales acuáticos, 32,4 millones de toneladas de algas acuáticas y 26.000 toneladas de conchas marinas ornamentales y perlas ornamentales, lo que eleva el total a un

[2] El término “pescado comestible” hace referencia al pescado destinado al consumo humano; por tanto, queda excluido el pescado destinado a usos no alimentarios. El término “consumo” hace referencia al consumo aparente, es decir, los alimentos disponibles para el consumo en promedio que, por diversas razones (por ejemplo, los desechos en los hogares), no coinciden con la ingesta alimentaria.

máximo histórico de 114,5 millones de toneladas de peso vivo, con un valor total de venta de 263.600 millones de USD. En la cría de animales acuáticos predominaron los peces de aleta con 54,3 millones de toneladas (139.700 millones de USD), de los cuales, 47 millones de toneladas (104.300 millones de USD) procedieron de la acuicultura continental y 7,3 millones de toneladas (35.400 millones de USD) de la acuicultura marina y costera (Ver anexo 2). Después de los peces de aleta se ubicaron los moluscos, principalmente bivalvos, (17,7 millones de toneladas, 34.600 millones de USD), crustáceos (9,4 millones de toneladas, 69.300 millones de USD), invertebrados marinos (435.400 toneladas, 2000 millones de USD), tortugas acuáticas (370.000 toneladas, 3500 millones de USD) y ranas (131.300 toneladas, 997 millones de USD).

La producción acuícola mundial de animales acuáticos creció, en promedio, un 5,3% anual en el período 2001-2018, mientras que el crecimiento fue solo del 4% en 2017 y del 3,2% en 2018. La baja tasa de crecimiento reciente se debió a la desaceleración de China, el mayor productor, donde se registró un crecimiento de la producción acuícola de solo el 2,2% en 2017 y el 1,6% en 2018, mientras que la producción combinada del resto del mundo siguió registrando un crecimiento moderado del 6,7% y el 5,5%, respectivamente, en los mismos dos años.

La acuicultura continental produjo la mayor parte del pescado cultivado (51,3 millones de toneladas), 62,5% del total mundial, principalmente en agua dulce, en comparación con el 57,7% en 2000. La proporción de la producción de peces de aleta disminuyó gradualmente, del 97,2% en 2000 al 91,5% (47 millones de toneladas) en 2018, mientras que la producción de otros grupos de especies aumentó, en particular mediante la cría de crustáceos de agua dulce en Asia, incluida la cría de camarones, ástacos y cangrejos (Ver anexo 2). En cuanto a la acuicultura marina y costera, los moluscos con concha (17,3 millones de toneladas) representaron el 56,3% de la producción en 2018. Los peces de aleta (7,3 millones de toneladas) y los crustáceos (5,7 millones de toneladas) capturados conjuntamente representaron el 42,5%, mientras que el resto estaba compuesto por otros animales acuáticos. La acuicultura con alimentación (57 millones de toneladas) ha superado a la acuicultura sin alimentación; esta última representó el 30,5% de la producción acuícola total en 2018, en comparación con el 43,9% en 2000, aunque su producción anual siguió aumentando en valores absolutos hasta alcanzar los 25 millones de toneladas en 2018.

Los sistemas de producción son muy variados en cuanto a métodos de producción, prácticas, instalaciones e integración con otras actividades agrícolas. En acuicultura continental el tipo de instalación más común sigue siendo los estanques en tierra, también se utilizan canales, tanques sobre el suelo y jaulas. En zonas tradicionales sigue siendo importante la acuicultura en arrozales, principalmente en Asia. Aun así, en los últimos años se han registrado importantes avances en la mejora de los sistemas acuícolas que permitieron aumentar la productividad, mejorar el uso de los recursos y reducir el impacto en el medio ambiente.

Especies acuáticas producidas

La gran diversidad de condiciones climáticas y ambientales en los lugares donde se practica la acuicultura alrededor de todo el mundo ha provocado que se utilice una amplia variedad de especies en diferentes tipos de prácticas de producción acuícola con agua dulce, agua salobre, agua marina y agua salina continental. Pese a la gran diversidad de especies cultivadas, la producción acuícola está dominada, en cuanto a volumen, por un número reducido de especies o grupos de especies, tanto a escala nacional, regional y mundial. En la categoría de los peces de aleta: 27 especies o grupos de especies representaron el 90% de la producción total en 2018 (Ver anexo 3). La carpa herbívora o Amur blanco, *Ctenopharyngodon idella*, es la especie más producida

con 5,7 millones de toneladas, un 10,5% del total. En segundo lugar le sigue la carpa plateada, *Hypophthalmichthys molitrix*, con 4,8 millones de toneladas (8,8%). Tercera se encuentra la tilapia del Nilo, *Oreochromis niloticus*, con 4,5 millones de toneladas (8,3%); cuarta, la carpa común, *Cyprinus carpio*, con 4,2 millones de toneladas (7,7%); y quinta, la carpa cabezona, *Hypophthalmichthys nobilis*, con 3,1 millones de toneladas (5,8%).

La producción acuícola mundial ha superado progresivamente la producción de la pesca de captura en los principales grupos de especies: en 1970, la producción de algas acuáticas; en 1986, la producción de peces de agua dulce; en 1994, la de los moluscos; en 1997, la de los peces diádromos; y, en 2014, la de los crustáceos. Sin embargo, a pesar de la creciente producción de la acuicultura mundial, es poco probable que la cría de peces marinos supere la producción de la pesca de captura marina en el futuro.

Principales países productores

La producción acuícola mundial de animales acuáticos ha estado dominada por Asia, con una participación del 89% en las últimas dos décadas. China ha producido más alimentos acuáticos cultivados que el resto del mundo en su conjunto desde 1991. África y América han aumentado sus proporciones en la producción mundial de animales acuáticos, mientras que Europa y Oceanía han disminuido ligeramente. Los principales países productores de 2018 en orden decreciente: China, el principal productor, con 47,6 millones de toneladas; en 2° lugar está India, con 7,1 millones de toneladas; en 3° lugar, Indonesia con 5,4 millones de toneladas; en 4° lugar, Vietnam con 4,1 millones de toneladas; en 5° lugar, Bangladesh con 2,4 millones de toneladas; en 6° lugar, Egipto con 1,56 millones de toneladas; en 7° lugar, Noruega con 1,35 millones de toneladas; en 8° lugar, Chile con 1,27 millones de toneladas; en 9° lugar Myanmar con 1,1 millones de toneladas; en 10° lugar, Tailandia con 890.900 toneladas; luego, Filipinas (826.100 toneladas), Japón (642.900 toneladas), Brasil (605.000 toneladas), Corea del Sur (568.400 toneladas), Ecuador (539.800 toneladas) y Estados Unidos (468.200 toneladas) (Ver anexo 4).

La producción de peces de aleta en acuicultura continental está liderada por los mismos primeros 6 países que en acuicultura general, pero difieren los siguientes puestos: 7° Myanmar, 8° Brasil, 9° Tailandia y 10° Irán (Ver anexo 4). Mientras que un pequeño número de países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), como Noruega, Chile, Japón, Reino Unido, Canadá y Grecia, son importantes productores de maricultura de peces de aleta, especialmente salmónidos de agua fría (Ver anexo 4). Varios países en desarrollo de Asia oriental y sudoriental dependen más de la acuicultura costera para la producción de peces de aleta que de la maricultura en el mar, especialmente en los países que están expuestos a tifones todos los años, entre ellos China, Filipinas y Vietnam. Luego de Egipto, el principal productor de África, Nigeria ha aumentado considerablemente su producción acuícola convirtiéndose en el segundo productor del continente; aunque la producción africana sigue siendo baja, 2,7% de la producción acuícola mundial.

En 2018, 39 países, situados en todas las regiones excepto Oceanía, produjeron más animales acuáticos mediante acuicultura que mediante la pesca. Estos países, que concentran aproximadamente la mitad de la población mundial, produjeron 63,6 millones de toneladas de peces cultivados, mientras que su producción de pesca de captura combinada fue de 26 millones de toneladas. De estos países que superan el nivel del 50% de su producción acuícola como porcentaje de su producción pesquera total, cuatro están entre los 10 principales países productores mundiales de pescado: China, 76,5%; la India, 57%; Vietnam 55,3%; y Bangladesh, 56,2%. Mientras que la acuicultura representó menos de la mitad pero más del 30% de la producción pesquera total de

otros 22 países en 2018, incluidos varios de los principales productores de pescado, como Indonesia (42,9%), Chile (37,4%), Myanmar (35,7%), Noruega (35,2%) y Tailandia (34,3%). Otros países productores importantes tienen un nivel muy por debajo del 50%, como Japón (17%), Estados Unidos (9%), Rusia (3,8%) y Perú (1,4%).

c. Sustentabilidad de la pesca marina

El estado de los recursos pesqueros marinos, basado en el seguimiento a largo plazo de las poblaciones de peces marinos evaluadas por la FAO (2020), ha seguido empeorando. La proporción de poblaciones de peces que se encuentran dentro de niveles biológicamente sostenibles disminuyó del 90% en 1974 al 65,8% en 2017 (una disminución del 1,1% desde 2015), con un 59,6% clasificado como poblaciones de peces explotadas a un nivel de sostenibilidad máximo y un 6,2% como poblaciones subexplotadas. Es decir, la proporción de poblaciones sobreexplotadas aumentó del 10% en 1974 al 34,2% en 2017. En este cálculo, se consideran todas las poblaciones de peces por igual, independientemente de su biomasa y las capturas.

La pesca en niveles biológicamente insostenibles conlleva efectos negativos en la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas, y reduce la producción pesquera, con graves consecuencias sociales y económicas en el largo plazo. Las pesquerías en las que se ha aplicado una ordenación intensiva han registrado disminuciones de la presión media de pesca y aumentos en la biomasa de las poblaciones, alcanzando, en muchos casos, niveles biológicamente sostenibles. De este modo, es imperioso aplicar políticas y reglamentaciones de ordenación destinadas a la sustentabilidad de las pesquerías y los ecosistemas, teniendo en cuenta las características de pesquerías específicas, sobre todo en aquellas que se encuentran en condiciones deficientes.

d. Harinas y aceites de pescado

En 2018, el 12% de la producción mundial de pescado, 22 millones de toneladas, se utilizó para fines no alimentarios. De los cuales, el 80% (unos 18 millones de toneladas) se redujo a harina y aceite de pescado. El restante 20% (4 millones de toneladas) se utilizó en gran medida como peces ornamentales, como alevines o adultos pequeños para cría, como cebo, en usos farmacéuticos, para alimento de animales de compañía o como materia prima para la alimentación directa en la acuicultura y para la cría de ganado y animales de peletería.

La harina de pescado es un material proteico similar a la harina que se obtiene después de 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 la posterior centrifugación del líquido obtenido. La harina y el aceite de pescado pueden elaborarse a partir del pescado entero, restos de pescado u otros subproductos de la elaboración de pescado. Se utilizan peces enteros de varias especies diferentes, principalmente especies pelágicas pequeñas, en particular la anchoveta. La proporción de pescado utilizada para la reducción a harina y aceite de pescado es más elevada en América Latina, seguida de Asia y Europa.

Los volúmenes de captura utilizados para la reducción a harina y aceite de pescado alcanzaron un nivel máximo en 1994, con más de 30 millones de toneladas, y luego disminuyó a unos 18 millones de toneladas en 2018. Esta disminución progresiva de la oferta ha ido acompañada de un aumento de la demanda impulsado por el rápido crecimiento de la industria acuícola, lo que ha provocado un aumento de los precios de la harina y el aceite de pescado. En consecuencia, una proporción cada vez mayor de harina y aceite de pescado se produce a partir de subproductos de pescado. Se estima

que estos subproductos se utilizan para producir hasta un 25% o un 35% del volumen total de harina y aceite de pescado.

e. Comercio internacional: exportaciones e importaciones

El pescado y los productos pesqueros siguen encontrándose entre los productos alimentarios más comercializados en todo el mundo. En 2018 se comercializaron internacionalmente 67 millones de toneladas, es decir, el 38% del total de la producción pesquera y acuícola. En términos generales, entre 1976 y 2018, el valor de las exportaciones mundiales de pescado aumentó de 7800 millones de USD hasta alcanzar un nivel máximo de 164.000 millones de USD, a una tasa anual del 8% en valores nominales y del 4% en valores reales (ajustados en función de la inflación). En el mismo período, las exportaciones mundiales en función de la cantidad aumentaron a una tasa anual del 3%, con una cifra inicial de 17,3 millones de toneladas. Las exportaciones de pescado y productos pesqueros representan alrededor del 11% del valor de exportación de los productos agrícolas (excluidos los productos forestales) (FAO, 2020).

China, además de ser el principal productor de pescado, ha sido también el principal exportador desde 2002 y es también, desde 2011, el tercer país importador más importante en función del valor. Noruega ha sido el segundo mayor exportador desde 2004, seguido de Vietnam (desde 2014), la India (desde 2017), Chile y Tailandia. Los países en desarrollo han aumentado su participación en el comercio internacional de pescado, pasando del 38% al 54% del valor de las exportaciones mundiales y del 34% al 60% de los volúmenes totales entre 1976 y 2018.

En 2018, la Unión Europea fue el principal mercado de importación de pescado (34% en función del valor), seguido de los Estados Unidos (14%) y Japón (9%). En 1976, estos porcentajes eran del 33%, el 22% y el 21%, respectivamente. La disminución de su participación es más bien el resultado de un crecimiento mucho más rápido de la demanda en muchas economías emergentes, en especial en Asia oriental y sudoriental.

Si bien los mercados de los países desarrollados siguen dominando las importaciones de pescado, la importancia de los países en desarrollo como consumidores ha ido aumentando constantemente. La urbanización y la expansión de la clase media consumidora de pescado han impulsado el crecimiento de la demanda en el mercado en desarrollo, superando aquella de las naciones desarrolladas. En 2018, las importaciones de pescado y productos pesqueros de los países en desarrollo representaron el 31% del total mundial en valor y el 49% en cantidad, en comparación con el 12% y el 19%, respectivamente, en 1976. Oceanía, los países en desarrollo de Asia y la región de América Latina y el Caribe siguen siendo sólidos exportadores netos de pescado. Europa y América del Norte se caracterizan por un déficit en el comercio de pescado. África es un importador neto en términos de volumen, pero es un exportador neto en función del valor.

3. Estado de la acuicultura en Argentina

a. Producción y consumo

La acuicultura destinada al consumo humano en Argentina es una actividad con una producción irrelevante a nivel global, ya que representa el 0,0843 % de la producción americana, y tan solo el 0,0039 % de la producción mundial de animales acuáticos. La actividad en el país ha ido creciendo lentamente, de forma escalonada, hasta alcanzar su producción máxima en el año 2014, superando las 4.000 toneladas, y desde entonces fue disminuyendo gradualmente hasta llegar a 2.592,19 toneladas producidas en 2019. Toda la producción del 2019 se comercializó en el mercado interno a excepción de un mínimo volumen de trucha arco iris que fue exportado a Estados Unidos.

Según Panné Huidobro (2019): "Esta disminución puede atribuirse a diferentes factores, desde económicos y de mercado, variables climáticas, problemas de disponibilidad de [alevines], sumado a productores que han abandonado la actividad. Si bien, las tecnologías para la cadena piscícola tanto en la Región NEA como en el Norte de Patagonia ya se encuentran validadas, aún falta desarrollar una actividad piscícola productiva, con agregado de valor en origen y ocupación de mano de obra, sumado a un bajo nivel de consumo de carne de pescado".

El promedio de consumo de pescado en Argentina está estimado en tan solo 4,8 kg per cápita. En las ciudades costeras el consumo es superior pero no se cuentan con mediciones cuantitativas al respecto. El bajo consumo de pescado en el país se explica por el hábito alimenticio de la población, inclinado tradicional e históricamente hacia las carnes rojas, especialmente vacuna, cuyo consumo también ha disminuido a través del tiempo por diversos factores reemplazándolo por productos sustitutos como el pollo, el cerdo, el cordero y, en menor medida, el pescado.

b. Provincias productoras

La contribución de las provincias en la producción acuícola nacional durante el año 2019, está liderada por Neuquén con una participación del 41,42 %, siendo responsable del 89 % de la producción total de trucha arco iris en el país. Le sigue la provincia de Misiones con el 35,82 % de la producción nacional, y la provincia de Chaco se ubica en tercer lugar con el 14,12 %, ambas pertenecen a la cuenca templado-cálida a subtropical. Estas tres provincias en conjunto conforman más del 90 % de la producción nacional. El resto de las provincias en las que se informó producción durante el 2019, con menos de 5% de participación cada una, son Buenos Aires, Chubut, Córdoba, Corrientes, Entre Ríos, Formosa, Jujuy, La Pampa, Mendoza, Río Negro, Santa Fe y Tierra del Fuego.

La provincia de Neuquén cuenta con alrededor de 10 establecimientos comerciales, laboratorios para producción de alevinos, pisciculturas rurales para consumo familiar, con fines educativos y pisciculturas provinciales para producción de alevinos de trucha, pejerrey y perca para repoblamiento. Neuquén incorpora la acuicultura al desarrollo de la producción primaria en su Programa de Desarrollo Productivo, diversificando la matriz productiva provincial, aprovechando las ventajas competitivas de sus recursos hídricos. Los embalses compartidos entre las provincias de Neuquén y Río Negro, según estimaciones, tendrían una capacidad de carga máxima de 27.600 toneladas.

La producción en la cuenca templado-cálida a subtropical se realiza, principalmente, en sistemas semi-intensivos realizados en estanques excavados en tierra arcillosa, lo que facilita su compactación y disminuye la infiltración del agua. A su vez, el clima subtropical sin estación seca, con precipitaciones durante gran parte del año, garantizan un

importante abastecimiento de agua, y las altas temperaturas permiten el cultivo de especies de agua cálida. Sus principales productores son empresas yerbateras y arroceras, existiendo también una producción realizada por pequeños productores. La dimensión de los estanques es variable, mientras los principales productores utilizan estanques de engorde que van desde 3 a 20 hectáreas de superficie, aquellos productores más pequeños, poseen estanques que varían entre 300 m^2 y 1 hectárea. Estos sistemas no cuentan con aireación suplementaria ni recambio de agua, reponiéndose solo aquellas pérdidas por filtración y evaporación. La principal especie que se produce, por gran diferencia, es el pacú, y en menor medida, también se crían carpas, surubí, dorado, boga, sábalo, tilapia, muchas veces en policultivo.

c. Especies producidas

En la siguiente tabla obtenida del informe de la Secretaría Nacional de Acuicultura se puede observar las principales especies producidas en el 2019.

Producción acuícola argentina durante el 2019.

Especies	Toneladas
TRUCHA *(Oncorhynchus mykiss)*	1.201,74
PACU *(Piaractus mesopotamicus)*	1.063,05
CARPAS *(Cyprinus carpio, Hypopthalmichtys molitrix, Aristichtys nobilis, Ctenopharyngodon idella)*	103,81
SURUBI *(Pseudoplatystoma fasciatum y P. coruscans)*	87,11
SALMON DE RIO *(Brycon orbignyanus)*	55,00
TILAPIA *(Oreochromis niloticus)*	23,70
OSTRA *(Crassostrea gigas)*	15,50
DORADO *(Salminus brasiliensis)*	12,39
BOGA *(Leporinus obtusidens)*	9,63
RANA *(Rana catesbeiana)*	8,60
SABALO *(Prochilodus lineatus)*	7,66
MEJILLON *(Mytilus edulis; M. chilensis)*	4,00
TOTAL	**2.592,19**

Fuente: Coordinación de Acuicultura y Promoción del Consumo Interno

Durante el 2019, el cultivo de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) volvió, después de varios años, a ser la principal especie de cultivo en el país, con 1201,74 toneladas producidas y una participación del 46,36 % en la producción nacional.

Se cría mayormente en la Cuenca templada fría y cordillerana, en las provincias de Neuquén, Río Negro, Mendoza, Córdoba, Jujuy y La Pampa, con una producción enfocada principalmente al mercado turístico de la región. En Neuquén, su producción principal se realiza en los cuerpos de aguas provinciales que son concesionados en los embalses hidroeléctricos del río Limay (Alicurá y Piedra del Águila) mediante jaulas flotantes. También hay establecimientos de pequeños y medianos productores o familiares en tierra, mediante *raceways* (canales de cemento rectangulares alargados con flujo continuo) o en tanques circulares, con altas tasas de renovación de agua de excelente calidad. Adicionalmente, existe una producción de trucha arco iris en jaulas en el Canal de Beagle, Tierra del Fuego.

El principal mercado receptor son las ciudades de Buenos Aires, Rosario y Córdoba, y también es comercializada en numerosos centros turísticos del país, principalmente los de Nordpatagonia, la principal región productora. Las ventas alcanzan pescaderías, supermercados, restoranes, empresas de catering o aquellas dedicadas a delicatesen. Se comercializa fresca o congelada, entera o en filetes de diferentes tallas e incluso como productos con valor agregado, principalmente ahumado. El producto más requerido es el de alrededor de 300 gramos con diferentes presentaciones; entero, despinado o filete tipo mariposa, y últimamente también trucha grande.

El pacú (*Piaractus mesopotamicus*) representa el 41,01 % de la producción nacional y es la segunda especie más producida con 1.063,05 toneladas, y la principal especie de la Cuenca templado-cálida y subtropical donde se encuentran Misiones y Chaco.

La producción de pacú ha sido integrada por empresas arroceras en un sistema de rotación de arroz-pacú: producir en un mismo lote un ciclo de cultivo de arroz seguido de uno de peces. Esto genera, tanto beneficios económicos como ambientales, logrando una sinergia entre ambas actividades y mayor sustentabilidad en el sistema de producción. Entre las ventajas para el cultivo de arroz están el control de malezas y plagas, entre ellas, una de las principales: el caracol; el incremento de la fertilidad del suelo por las heces de los peces, reemplazando el uso de fertilizantes; la reducción en las labores agrícolas; y el cultivo de un producto diferenciado. Mientras que la piscicultura se beneficia de la infraestructura del campo de arroz: la disponibilidad del agua y el alimento natural, y se evita la aplicación de antibióticos y promotores de crecimiento. Estas empresas desarrollan un proceso de integración vertical: cría de alevines, planta de alimento balanceado, frigorífico y logística de distribución.

El pacú se comercializa en su totalidad en el mercado interno como pieza entera eviscerada, de al menos 1,2 kg como tamaño ideal, de a mitades con piel y sin espinas, y en varias otras presentaciones como hamburguesas, lonjitas, filetes, *nuggets*, etc. Posee un mercado muy extendido, ya que se lo puede encontrar en comercios de casi todo el país. “La única experiencia de exportación se realizó en el año 2016 a Bolivia en una cantidad limitada, mientras que recientemente se realizó un envío de muestras de pacú a Dubai (lonjitas, filetes y cortes premium), donde el producto fue bien recibido, aunque no llegaron al volumen mínimo necesario para poder realizar exportaciones periódicas, dado que su producción actual sería insuficiente para insertarse en el mercado internacional” (Panné Huidobro, 2019).

Ambas, la trucha arco iris y el pacú, representan más del 87 % del total de la producción, constituyendo las dos principales especies de la acuicultura nacional. El resto de las especies son producidas, casi totalmente en la cuenca templado-cálida y subtropical, en un volumen pequeño.

El grupo de las carpas, que abarca la común (*Cyprinus carpio*), la herbívora (*Ctenopharyngodon idella*); la plateada (*Aristichtys nobilis*) y la cabezona (*Hypopthalmichtys molitrix*), representan el 4 % del total con un volumen de 103,81 toneladas. Se produce principalmente en la provincia de Misiones en la forma de policultivos. La carpa herbívora o Amur blanco suele utilizarse, también en otras provincias, como control de maleza en canales, estanques piscícolas y embalses, debido al hecho de alimentarse de plantas superiores y macroalgas.

El surubí se ubica en el 4° puesto de la producción nacional con 87,11 toneladas durante el año 2019. Su producción consta de dos especies (*Pseudoplatystoma fasciatum* y *P. coruscans*), con epicentro en la provincia de Misiones. Su carne tiene una buena aceptación y se comercializa entre 1 y 1,2 kilos, en postas o en filetes. También en Misiones se realizan las principales producciones nacionales de otras especies ícticas

nativas como salmón de río, *Brycon orbignyanus*, (la 5° especie en producción nacional con 55 toneladas totales); dorado, *Salminus brasiliensis*, (con 12,39 toneladas); boga, *Leporinus obtusidens*, (9,63 toneladas); y sábalo, *Prochilodus lineatus*, (7,66 toneladas).

La tilapia (*Oreochromis niloticus*) es la 6° especie más producida en el país con de 23,70 toneladas en el 2019. Su producción se concentra en las provincias de Buenos Aires, Chaco y Formosa. Posee una diferencia, en cuanto al sistema de producción, con respecto al resto de las especies, ya que se produce en sistemas de recirculación de agua, sobre todo en la provincia de Buenos Aires, y en estanques excavados en las provincias norteñas. A pesar de ser un pescado muy consumido a nivel mundial, no es una especie muy conocida a nivel local, por esta razón su principal mercado son las comunidades china, coreana y colombiana en el país. Podría ser introducida a un mayor mercado generando el marketing adecuado y una buena presentación en filetes sin espinas. La Universidad Nacional de Formosa, que incorporó una Estación Experimental de Piscicultura (EEP-UNaF) realizó en 2019 la 3° edición de la "Expo Tilapia", con charlas informativas de profesionales de la producción, salud y nutrición, degustaciones y campañas publicitarias en radios para promover su difusión.

La producción de rana toro (*Lithobates catesbeianus*), realizada en sistemas super-intensivos empleando boxes en módulos verticales, fue de 8,6 toneladas. Es un producto de gran valor para el mercado gourmet. Al haberse registrado varias poblaciones estables en estado silvestre en Misiones, Córdoba, Buenos Aires, San Juan, Mendoza y Salta, tras escapes y sueltas ocurridas en las décadas del ´80 y ´90, fue incluida en el Proyecto sobre Exóticas Invasoras del Ministerio de Ambiente.

En cuanto a la maricultura, se produjeron 4 toneladas de mejillón (*Mytilus edulis*) y 14,5 toneladas de ostra cóncava (*Crassostrea gigas*) en el año 2019. La producción de mejillón se efectuó en las provincias de Chubut y Tierra del Fuego, empleándose sistemas de long-line y balsas respectivamente. La ostra cóncava se produce al sur de la provincia de Buenos Aires dentro de bolsas de malla plástica montadas sobre estructuras de hierro en forma rectangular, cuyas patas son clavadas en los fondos en la zona intermareal. Ambos moluscos bivalvos se comercializan tanto en forma fresca como congelado y, en menor escala, parte de la producción se procesa en media valva congelada, pulpa o escabeche, y el principal mercado es la ciudad de Buenos Aires. Con respecto a otras especies marinas, el INIDEP tiene un programa de maricultura y biología experimental (MARI) para el desarrollo, junto al sector privado, del cultivo piloto-comercial de besugo (*Pagrus pagrus*), lenguado (*Paralichthys orbignyanus*), chernia (*Polyprion americanus*), pez limón (*Seriola lalandei*), pulpo (*Octopus tehuelchus*), entre otras especies.

Para finalizar, los sistemas de acuaponia, aunque todavía escasos, están creciendo en importancia siendo incorporados por producciones familiares para autoconsumo y por centros de enseñanza tanto para docencia como para investigación.

d. Breve reseña histórica

Un primer antecedente relevante de la producción acuícola en el país lo brinda el presidente Marcelo T. de Alvear, quien en su discurso en la inauguración de las sesiones del Congreso Nacional en 1928 dedica un pasaje a los progresos realizados en acuicultura: "Los trabajos de difusión de peces comestibles han continuado desenvolviéndose satisfactoriamente y se han intensificado trabajos experimentales de ostricultura para propagar la ostra autóctona del golfo de San Matías" (citado en Fabián Ballesteros, 2011). En una foto del Archivo General De la Nación se puede observar al presidente Alvear visitando un criadero de ostras en Mar del Plata en 1927 (Ver Anexo 5).

En la década del 30 del siglo XX comienza a desarrollarse la acuicultura en la provincia de Misiones, impulsada por inmigrantes mayormente europeos, quienes producían peces para autoconsumo en estanques excavados. Los suelos de Misiones cuentan con un alto grado de arcilla, lo que favorece su compactación al construir los estanques, disminuyendo la infiltración del agua (Panné Huidobro, 2019). Para fines de la década del ´50, ya se ha introducido *Oreochromis niloticus*, tilapia del Nilo, a la provincia de Misiones. Por su parte, la provincia de Corrientes la introdujo a fines de los '70 o principios del '80. En ambos casos fueron importadas desde Brasil y no se tiene conocimiento sobre las líneas genéticas. La provincia de Formosa introdujo ejemplares reproductores provenientes de Paraguay de la línea jamaiquina durante la década del ´90, y posteriormente, esta línea llegó a Corrientes y Chaco. Formosa fue la única provincia que produjo carne de tilapia durante la década del ´90, con material de sexo revertido in situ: alrededor de 10 toneladas en los años ´96 y ´97. En noviembre del ´99, la Dirección Nacional de Acuicultura autorizó por primera vez una introducción de híbridos rojos de tilapia del Nilo (*Oreochromis sp.*) proveniente de Israel a la provincia de Misiones. Y recientemente, a principios del año 2001, se autorizó una primera introducción de *O. niloticus*, línea "Chitralada" de origen tailandés desde Brasil hacia Corrientes, para una producción experimental en campo de un productor y también en el Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC) (Luchini, n.d.).

Mientras tanto, en la región patagónica, comienza una mayor inversión y el desarrollo de cultivos intensivos a principios de la década de los '90. Ya que, previamente, solo se hacían producciones artesanales, cuya única especie en cultivo era la trucha. Con la aplicación de mejores tecnologías, como las de jaulas suspendidas, se produjo un incremento en la densidad de cultivo y aumento de la producción. De tal modo, se otorgan concesiones tanto en Río Negro como en Neuquén, en el embalse de Alicurá (*Actividad Pesquera de Argentina • El Sur Del Sur*, n.d.).

En las últimas dos décadas, diferentes instituciones, entre ellas el Ministerio del Agro y la Producción de Misiones, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuario (INTA), la Asociación de Plantadores de Tabaco de Misiones, el Instituto de Fomento Agropecuario e Industrial (IFAI) y varias municipalidades, han impulsado y promovido el desarrollo de la acuicultura. Sumado a eso, dos empresas yerbateras realizaron una gran inversión en la producción de especies nativas, como pacú, surubí, dorado y salmón de río. En 2011 se conforma el Clúster Acuícola del Nea, que integra a productores, empresarios, técnicos y funcionarios vinculados a la producción y comercialización de productos acuícolas concentrados en las provincias de Corrientes, Chaco, Formosa y Misiones. En el 2016 se realiza el Censo de Productores Piscícolas, con financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), en el marco del Programa de Desarrollo Pesquero y Acuícola Sustentable (PRODESPA) de la Unidad para el Cambio Rural (UCAR). "Según datos proporcionados por el INTA Oberá y el Ministerio del Agro y la Producción de la provincia [de Misiones], hoy la misma cuenta con más de 4.000 productores y una superficie de 800 ha estanques. A su vez cuenta con 5 frigoríficos, dos cooperativos y tres privados. Existen 3 fábricas de alimento balanceado, uno de los cuales produce ración extrusada. Además hay 6 estaciones de piscicultura (una estatal, una cooperativa, dos de pequeños productores y las dos empresas yerbateras) que logran proveer alevinos a toda la región. Tienen mucha relevancia los pesque y pague, y en su mayoría anexaron comidas a base de pescado, camping, cabañas, orientados completamente a atender las demandas turísticas, a su vez son un canal muy importante de venta de pescado fresco. Existen varias cooperativas y asociaciones que nuclean a los productores, esto beneficia a los pequeños y medianos productores para que logren ser más competitivos en el mercado" (Panné Huidobro, 2019).

4. Acuaponia: hidroponia + acuicultura con recirculación de agua

La acuaponia es una técnica para combinar la hidroponia y la acuicultura en un sistema que cultiva plantas con el agua de los peces recirculada continuamente.

La hidroponia es un método de cultivo de plantas sin el uso de suelo, ya sea en un sustrato inerte o con las raíces suspendidas en un medio acuoso. En el sistema de irrigación se introduce una solución con todos los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. Al evitar el contacto entre las raíces y el suelo, se pueden controlar los patógenos y enfermedades transmitidas por el suelo, lo cual se refuerza esterilizando los medios de producción entre cultivos. Algunos sustratos son mucho mejores que el suelo en cuanto a capacidad de retención de agua y suministro de oxígeno a las raíces. Además, se pueden mejorar las condiciones de cultivo monitoreando y controlando la disponibilidad de nutrientes en las raíces para alcanzar los requerimientos óptimos de la planta, lo que conduce a mayores rendimientos. Su mayor eficiencia en el uso de agua y fertilizantes hace que la hidroponia sea la técnica agrícola más adecuada en regiones áridas o donde la dispersión de nutrientes sea un problema por razones ambientales y económicas. La compensación del suelo hace que sea posible el desarrollo de la agricultura donde la tierra cultivable no está disponible, como tierras áridas, suelos salinos y zonas urbanas, o donde la competencia por la tierra y el agua o las condiciones climáticas desfavorables requieran la adopción de sistemas de producción intensiva (Somerville, Cohen, Pantanella, Stankus, & Lovatelli, 2014).

La acuicultura es la cría y producción en cautividad de peces y otros animales acuáticos y especies vegetales en condiciones controladas. Las cuatro categorías principales de acuicultura incluyen sistemas de aguas abiertas (por ejemplo, jaulas), cultivo en estanques, canales de flujo continuo (*raceways*) y sistemas de recirculación de acuicultura (RAS). El sistema de recirculación en acuicultura (RAS; Recirculation Aquaculture System) es un sistema de producción intensiva con la tecnología de ahorro de agua más eficiente en piscicultura (Candarle, 2016). Como todo sistema intensivo, implica una gran inversión inicial y un aumento en los costos de energía y mantenimiento de las instalaciones. A su vez, el incremento en la productividad, logrado por la alta densidad de peces que posibilita el sistema, permite compensar el aumento de los costos (Kubitza, 2006). Un problema importante para la sostenibilidad de la acuicultura es el tratamiento de aguas residuales ricas en nutrientes, que es un subproducto de todos los métodos de acuicultura mencionados anteriormente. El tratamiento de los efluentes puede ser costoso. Sin tratamiento, la liberación de agua rica en nutrientes puede provocar eutrofización e hipoxia en la cuenca natural, el crecimiento excesivo de macroalgas y otras perturbaciones ecológicas y económicas. El cultivo de plantas dentro de la corriente de efluentes es un método para prevenir su liberación al medio ambiente y para obtener beneficios económicos adicionales de cultivos que crecen con subproductos sin costo a través del riego. El RAS es el método más aplicable para el desarrollo de sistemas integrados de agricultura y acuicultura debido al posible uso de subproductos y las concentraciones más altas de nutrientes en el agua para la producción de cultivos de hortalizas (Somerville et al., 2014).

De esta manera, la acuaponia es la integración en un mismo sistema de producción de dos de los sistemas más productivos en sus respectivos campos: la hidroponia y la acuicultura de recirculación de agua. La acuaponia es la gestión de un ecosistema completo que incluye tres grupos principales de organismos: peces, plantas y bacterias. El efluente de la acuicultura se desvía a través de los lechos de las plantas y no se libera al medio ambiente, mientras que al mismo tiempo los nutrientes para las plantas se

suministran de una fuente sostenible, rentable y orgánica. Esta integración elimina algunos de los factores insostenibles de hacer funcionar la acuicultura y los sistemas hidropónicos de forma independiente. La acuaponia permite un uso eficiente de la tierra y el agua, y un mayor control de la producción. Al no recurrir a productos químicos para fertilizar ni para el control de plagas o malezas, logra que los alimentos sean más seguros contra posibles residuos y de superior calidad. Económicamente, estos sistemas requieren una inversión inicial sustancial, pero luego son seguidos por bajos costos recurrentes y rendimientos combinados tanto del pescado como de las verduras. La acuaponia puede ser más productiva y viable económicamente en determinadas situaciones, especialmente cuando la tierra y el agua son limitantes. La acuaponia es ideal donde la tierra es cara, el agua es escasa y los suelos son pobres (Somerville et al., 2014).

Sin embargo, la acuaponia puede ser demasiado complicada y costosa, y requiere de una gran inversión inicial. El aumento de la producción debe compensar los mayores costos de inversión necesarios para integrar los dos sistemas. Tanto los costos como los beneficios se magnifican. Su administración exitosa requiere de una persona o un grupo de personas dedicadas e interesadas, con un conocimiento integral del funcionamiento del sistema. La calidad del agua debe medirse y manipularse diariamente para realizar el mantenimiento de los tres grupos separados de organismos involucrados. Se requieren habilidades técnicas para construir e instalar los sistemas, especialmente en el caso de plomería y cableado. La acuaponia puede ser poco práctica e innecesaria en lugares con acceso a la tierra, suelo fértil, espacio adecuado y agua disponible. Además, la acuaponia requiere un acceso constante a algunos insumos. Se necesita de electricidad para recircular el agua a través del sistema, y los suministros eléctricos inconstantes o un alto costo de la electricidad pueden hacer que la actividad sea inviable en algunos lugares. El alimento para peces debe comprarse con regularidad y se debe tener acceso a alevines de peces y semillas de plantas para continuar la producción. Estos insumos pueden reducirse: incorporando fuentes de energía alternativas, mediante la producción de alimento para peces, la cría de peces y la propagación de plantas para autoabastecimiento; pero estas tareas requieren conocimientos adicionales y agregan tiempo a la gestión diaria, y pueden ser demasiado onerosas y consumir mucho tiempo para un sistema a pequeña escala (Somerville et al., 2014).

El éxito se deriva de la producción local, sustentable e intensiva tanto de peces como de plantas y, posiblemente, estos podrían ser superiores a los dos componentes tomados por separado, siempre que la acuaponia se utilice en lugares adecuados teniendo en cuenta sus limitaciones.

a. Descripción del sistema

La acuaponia es bastante flexible y se puede adaptar a las condiciones culturales y ambientales locales. Existe una amplia variedad de diseños acuapónicos: con mayor o menor tecnología, con instalaciones sofisticadas o con materiales locales y conocimientos domésticos. El sistema acuapónico básico funciona en una amplia gama de condiciones, y las unidades se pueden diseñar y escalar según las necesidades y el nivel de habilidad del productor (Somerville et al., 2014). A continuación se describirá, como ejemplo, el sistema acuapónico expuesto en la diplomatura en acuicultura dictada en la escuela de acuicultura Productor Acuícola.

El sistema comienza con la entrada del agua al tanque de los peces, la cual debe ser tangencial para provocar la rotación del agua. Es preferible que la pared del tanque sea circular, lo que favorece que el agua fluya y los residuos sólidos se acumulen en el

centro, ya que el agua en el centro del vórtice se mueve más lento que la del borde. La colocación de una tapa que permita el paso de aire en los tanques evita que la luz solar favorezca el desarrollo de algas, impide que los peces salten y salgan del tanque y previene la caída de residuos externos y el ataque de los depredadores. El tanque tiene dos salidas de agua. Una salida superior lateral retira los sólidos finos, por donde rebalsa el 90% del agua, y una salida inferior central retira los sólidos gruesos acumulados en el fondo del tanque (Catania, 2016).

El agua sale del tanque de los peces, cargada del residuo metabólico de los mismos (amonio), excremento y restos de alimento no consumido, y pasa a través de un decantador o sedimentador que retira los residuos sólidos. El sedimentador está construido de tal manera de disminuir la velocidad del agua, ya que el agua cuando se mueve lentamente es incapaz de cargar tantas partículas como cuando fluye rápidamente. La salida inferior central del tanque de los peces lleva, por gravedad, el excremento al sedimentador de sólidos gruesos, el cual tiene dos salidas. Una salida inferior conduce los excrementos al biodigestor anaeróbico y esta salida se abre varias veces al día dependiendo de la acumulación de sólidos; mientras que una salida superior elimina los sólidos finos suspendidos. Esta salida superior y la salida superior lateral del tanque de los peces llevan los sólidos finos al filtro mecánico o rotofiltro.

El filtro mecánico o rotofiltro elimina por acción de la fuerza centrífuga aquellos desechos orgánicos de menor tamaño suspendidos en el agua que no pueden ser eliminados por el sedimentador, ni decantan por gravedad. Estos desechos son conducidos al biodigestor anaeróbico. En cambio, el agua tratada es enviada al filtro biológico.

El biodigestor anaeróbico tiene instalada una pequeña bomba de agua que agita de forma intermitente la mezcla para romper el floculo sobre la superficie liquida del interior. Sobre la superficie del agua hay una cámara de gases metano y dióxido de carbono y una válvula libera la presión a un gasómetro. La válvula de salida conduce el líquido con nutrientes por un caño colector hacia las plantas de huerta.

El filtro biológico contiene en flotación bioesferas (botitas de telgopor o tapas de botellas), las cuales poseen un sustrato al que se fijan las bacterias aeróbicas. Estas bacterias purifican las formas tóxicas de nitrógeno para los peces, oxidando el amonio a nitrito y después a nitrato. Al filtro biológico llega el agua tratada del rotofiltro que entra de forma tangencial generando la rotación interna del líquido. La entrada tiene un Venturi y la tapa del tanque tiene dos entradas de aire, ambos para permitir el ingreso de oxígeno para las bacterias aeróbicas. La salida del agua tiene una malla que impide el escape de las bioesferas (Catania, 2016).

Los caños de salida del biodigestor y del filtro biológico conducen los efluentes a un tanque colector que los distribuye al cultivo de plantas hidropónicas. Los caños distribuidores deben estar todos al mismo nivel para que la distribución sea similar a cada pileta o hilera de plantas, según el sistema hidropónico adoptado. La técnica del film nutritivo (NFT, “Nutrient Film Technique”) es una de las variantes en los sistemas de hidroponia y consiste en que el agua circule por unas cañerías con ranuras en las cuales se colocan las plantas. Las raíces suspendidas toman contacto con la fina película de agua con solución nutritiva (Candarle, 2016). Unas tuberías de sección rectangular con un ancho mayor que la altura favorecen una película de agua más grande para aumentar la absorción de nutrientes de las raíces (Somerville et al., 2014). Luego, el agua se vuelca en un reservorio. Este sistema es ideal para el cultivo de plantas de hoja, ya que no requieren de mucho sostén (Candarle, 2016).

El NFT es el método de hidroponia más utilizado y el que requiere menor volumen de agua. Esta diferencia de volumen lo vuelve más propenso a fluctuaciones térmicas y de

otras variables como el pH, y suele provocar una concentración mayor de nutrientes en el agua. También presenta una buena concentración de oxígeno al estar la película del agua en contacto con abundante aire dentro de las canaletas (Candarle, 2016). Otro beneficio del NFT es que las tuberías se pueden organizar en muchos patrones, y se pueden disponer verticalmente, aprovechando el uso de paredes y balcones (Somerville et al., 2014).

El colector de agua inferior del cultivo de plantas consta de una cañería de desagote de seguridad, y una boya de nivel que permite la recuperación del agua para mantener siempre un volumen mínimo de agua. Finalmente, el agua vuelve al tanque de los peces y se cierra el ciclo.

Como afirma Kubitza (2006), establecer una línea de tratamiento de agua para todos los tanques, a pesar del menor costo de esta instalación, presenta algunos inconvenientes: "Primero, el riesgo de diseminación de un problema de enfermedades iniciado en un tanque hacia todos los demás tanques del sistema. El tratamiento del sistema completo es más oneroso y menos eficiente, existiendo aún el riesgo de que los productos usados perjudiquen a las bacterias del filtro. Tampoco será posible realizar vacíos sanitarios, a no ser que la producción se paralice por completo. El segundo inconveniente es la necesidad de interferencia en todos los tanques cuando existe necesidad de limpieza de filtros o de reparación estructural del sistema."

A su vez, un sistema en el cual todos los tanques se encuentran aislados: cada uno con su propio tratamiento de agua (filtros, biofiltros y bombas de pequeño calibre), confiere mayor seguridad en cuanto al control sanitario o a la necesidad de intervenciones estructurales. Pero implica una mayor inversión y un mayor mantenimiento y limpieza de las instalaciones. También se dificulta el monitoreo y corrección de la calidad del agua de cada tanque. De este modo, la situación ideal es encontrar un equilibrio y agrupar cierto número de tanques con un mismo sistema de tratamiento de agua (Kubitza, 2006).

Flujo de agua

El movimiento del agua a través del sistema es fundamental para la vida de todos los organismos. Si el flujo de agua se detuviese, el nivel de oxígeno disuelto comenzaría a disminuir, los desechos se acumularían en el tanque de los peces, los parámetros químicos del agua empeorarían y los peces podrían morir en unas pocas horas. Como criterio general: cuando los sistemas acuapónicos trabajen con una alta densidad de peces, se debe ciclar el agua dos veces por hora; mientras que con una baja densidad de peces, se puede ciclar el agua una vez por hora. En el sector hidropónico, el flujo de agua para cada tubo de cultivo no debe ser mayor de 1 a 2 litros por minuto. Un flujo de agua mayor tendrá un impacto negativo en las raíces de las plantas, mientras que un flujo de agua menor no proporcionará los niveles adecuados de oxígeno y nutrientes. El caudal se controla desde una válvula y todo el exceso de flujo de agua se devuelve al tanque de peces (Somerville et al., 2014).

Remoción de desechos sólidos

La acumulación de desechos sólidos causa bloqueos en bombas y componentes de plomería (Somerville et al., 2014), y perjudica la operación de los filtros, obligando a invertir en filtros de mayor capacidad y aumentando la necesidad de retro-lavados y limpiezas más frecuentes, incrementando el costo operacional y el uso de agua del sistema (Kubitza, 2006). Por otra parte, los desechos podrían alcanzar a las raíces de las plantas y taparlas, impidiendo así, una correcta absorción de los nutrientes (Candarle, 2016). Cuanto más tiempo los sólidos permanezcan dentro del sistema, mayor será el consumo de oxígeno y la producción de amoníaco y de dióxido de carbono

por las bacterias y otros organismos en los procesos biológicos de descomposición de la materia orgánica (Kubitza, 2006). La disminución de oxígeno en el agua favorecerá el desarrollo de bacterias anaeróbicas que producen sulfuro de hidrógeno, un gas muy tóxico y letal para los peces, producido a partir de la fermentación de los desechos sólidos (Somerville et al., 2014). Y, finalmente, el acumulo de materia orgánica favorece la proliferación de patógenos, con resultados adversos para el bienestar y la salud de los animales (Kubitza, 2006).

Adicionalmente, el aumento en los niveles de amoníaco, provocado por el atraso y la ineficiencia en la remoción de los sólidos, exige mayores inversiones en biofiltros (aumentando el capital de inversión) y una mayor tasa de circulación de agua en el filtro biológico y en el sistema en general, acrecentando el gasto de bombeo. La nitrificación también genera acidez y consume oxígeno. De este modo, el amoníaco generado innecesariamente dentro del sistema, aumentará los costos de aireación y de uso de métodos correctores de acidez en el agua (Kubitza, 2006).

Nitrificación

El amoníaco es un producto de desecho "que proviene de la excreción nitrogenada de los propios peces en cultivo (por su actividad metabólica) o también de la descomposición de desechos orgánicos existentes dentro del sistema. El amoníaco y los nitritos son tóxicos para los peces, pudiendo producir la muerte directamente según las concentraciones registradas. En concentraciones no letales afecta la respuesta en crecimiento de los peces e influye sobre la incidencia de enfermedades" (Luchini, 2006). El amoníaco es eliminado del sistema por el metabolismo de las bacterias. El área total disponible para estas bacterias determinará la cantidad de amoníaco total que pueden metabolizar. Debido a esto, los sistemas con alta densidad de peces requieren de un componente de biofiltración separado que contenga un material con una gran superficie para la colonización de las bacterias (Somerville et al., 2014).

En ese biofiltro se lleva a cabo el proceso de nitrificación: las bacterias nitrificadoras del género Nitrosomonas realizan la oxidación del amoníaco (NH_3) a nitrito (NO_2) y las del género Nitrobacter oxidan, a su vez, el nitrito (NO_2) hasta nitrato (NO_3) (Kubitza, 2006). Este proceso requiere de grandes cantidades de oxígeno, de lo contrario el proceso se revertirá y las bacterias comenzarán a morir. Por este motivo, con el fin de asegurar las condiciones adecuadas, existen varios artefactos para incrementar el nivel de oxígeno en el agua, como el tubo Venturi, la entrada de agua tangencial, un aireador de acuario que genere burbujas, respiraderos en la tapa del biofiltro (Catania, 2016).

Según Kubitza (2006), "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. Esto previene el acumulo de amoníaco en el agua y los consecuentes perjuicios en el desempeño y la salud de los peces".

El productor debe estar atento a la evolución de la concentración del amoníaco a medida que la producción transcurre. En sistemas intensivos donde el nivel de ofrecimiento de alimento externo es alto, conviene realizar mediciones periódicas de pH y amoníaco, con sus respectivos registros. Se pueden consultar tablas sobre los valores máximos de amoníaco en agua en relación a la temperatura y el pH del medio para distintas especies de tilapias (Luchini, 2006).

b. Tilapia

El nombre vulgar tilapia proviene del idioma swahili y significa “pez”. Este término se usa para denominar a diferentes especies de peces originarios del este de África de los géneros *Tilapia* y *Oreochromis*, pertenecientes a la familia de los Cíclidos (Colado, 2004; Luchini, 2006). Las especies más cultivadas son *Oreochromis niloticus* (tilapia común, plateada, del Nilo o nilótica), *Oreochromis aureus* (Tilapia azul) y varias “tilapias rojas” (*Oreochromis* spp.) obtenidas a partir de mutaciones de *O. niloticus* y *O. mossambicus* (tilapia de Mozambique) que posibilitaron el desarrollo de líneas híbridas con coloración que varía desde el rosa claro, pasando por el amarillo-naranja, hasta la coloración naranja-bermeja. La carne de todas estas especies es muy similar y lo que varía es solamente el color externo (Luchini, 2006).

La tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) es una de las especies de mayor conocimiento y producción en acuicultura a nivel mundial por adaptarse a cualquier sistema, debido a su amplia resistencia frente a diversos factores ambientales. Es resistente a muchos patógenos y parásitos, y tolera el estrés (Somerville et al., 2014). Se destaca por su crecimiento más rápido, reproducción más tardía (alcanza mayor tamaño antes de su primera reproducción) y su gran producción de alevinos. Existen diversos linajes de esta tilapia: la línea “chitralada”, descendiente de una línea originada en Egipto, es una de las que ha tenido gran difusión debido a su amplia respuesta en crecimiento y producción, su manejo simple y gran adaptación al cautiverio. Al ser más dóciles que otras líneas de tilapias, se facilita su manejo y su captura durante las cosechas (Kubitza, 2000 citado en Luchini, 2006). En cambio, las líneas rojas híbridas son más propensas a contraer enfermedades y llaman la atención de los predadores cuando se crían en instalaciones a cielo abierto (Colado, 2004; Luchini, 2006). Hay registro de producciones comerciales de tilapia en al menos 65 países, la mayoría situados en el trópico y subtrópico (Luchini, 2006).

En ambiente natural, su alimentación está constituida por algas, organismos bentónicos, invertebrados de la columna de agua, larvas de peces, detritus, materia orgánica en descomposición y plancton; aunque no son piscívoras, ocasionalmente pueden alimentarse de larvas de peces, inclusive de las propias (Colado, 2004). Las tilapias menores a 15 cm se alimentan de peces más pequeños, pero al superar los 15 cm se vuelven más lentas y cesa el problema (Somerville et al., 2014). En cautiverio, aceptan rápidamente alimento balanceado en forma de pellets (Luchini, 2006). Como los juveniles grandes y los adultos son muy territoriales, esto produce desigual crecimiento a altas densidades, cuando el alimento es limitado (Colado, 2004).

Parámetros físico-químicos

Esta especie es reconocida por sus amplios límites de tolerancia, adaptándose a diferentes condiciones de calidad de agua, en comparación con otras especies de peces: es tolerante a bajas concentraciones de oxígeno y altos niveles de amoníaco; se adapta a una franja amplia de acidez y alcalinidad del agua; y puede producirse en aguas salobres y saladas, resistiendo salinidades de hasta 20 ppt (partes por mil) (Colado, 2004; Luchini, 2006).

Su rango térmico óptimo se encuentra entre 27 y 32ºC. Por encima o por debajo de ese rango su apetito y, consecuentemente, su crecimiento se reducen. La reproducción y el crecimiento se inhiben cuando las temperaturas se sitúan por debajo de los 20ºC. Por debajo de los 18 - 15ºC, su sistema inmunológico se suprime y son altamente susceptibles a las enfermedades. Las temperaturas letales se ubican entre los 10-11ºC, lo cual convierte a la estación invernal en regiones de clima templado en un serio problema para la instalación de sus cultivos, a menos que el agua sea calentada. A

temperaturas por encima de 38ºC el estrés térmico también suele causar mortalidades altas (Colado, 2004; Luchini, 2006; Somerville et al., 2014).

La concentración normal de oxígeno para una correcta producción, es la de 2-3 mg/litro, ya que el metabolismo y el crecimiento disminuyen cuando los niveles son bajos y se mantienen por períodos prolongados. Aun así, sobrevive a concentraciones de 0,5 mg/l, niveles muy bajos para otras especies (Colado, 2004). El rango de pH óptimo para su cultivo se extiende entre 6,5 y 8,5. "En experiencias realizadas en aguas de pH 4,0, solamente sobrevivió un 40% de la población de cultivo en estanques. En aguas con pH 3,0 ha sido constatada su muerte total entre 1 y 3 días y en aguas con pH 2,0 sobreviven solamente durante 12 horas. Frente a una exposición en aguas ácidas, se produce la destrucción total del tejido branquial que es, por otra parte, el tejido esencial para la respiración y excreción en los peces. A pH por encima de 10, las mortalidades son también significativas. Aunque no se produzcan mortalidades por estos cambios de pH en el transcurso del día, un elevado pH puede potenciar problemas de toxicidad debido al amoníaco" (Luchini, 2006). El amoníaco es más tóxico a altas temperaturas. La disminución del oxígeno disuelto también aumenta la toxicidad del amoníaco, disminuyendo el apetito y el crecimiento en los peces, a concentraciones tan bajas como 0,08 mg/l (Colado, 2004). Existen tablas sobre los valores máximos de amoníaco en relación a la temperatura y el pH del medio para distintas especies de tilapias. La alcalinidad total del agua debe situarse para tilapia entre 100 a 200 mg/litro; mientras que los nitritos deberán establecerse en menos de 0,1mg/l y los nitratos podrán situarse en los 10 mg/litro (Luchini, 2006).

5. Análisis de caso y objetivos

Análisis de caso

El desarrollo de esta tesis consistirá en el análisis económico y productivo de un establecimiento ubicado en el municipio de Bolívar, provincia de Buenos Aires, fundado por el contador y productor acuícola Germán Behrens, quien obtuvo sus conocimientos en acuicultura en la Escuela del Productor Acuícola de Eduardo Catania.

Eduardo Catania es un emprendedor y pionero en la actividad acuícola argentina. En el municipio de San Vicente, provincia de Buenos Aires, fundó la Escuela del Productor Acuícola en 1995 que dicta cursos de alcance internacional sobre acuicultura y acuaponia. Con su escuela y toda una vida de experiencia en la cría de peces, educó e inició en la actividad a generaciones de estudiantes a lo largo de los años, que hoy constituyen la mayoría de productores acuícolas de la región. Muchos de estos alumnos que se iniciaron en la acuaponia se agruparon en la asociación Productores Acuapónicos Intensivos de Buenos Aires (PAIBA).

Dentro de esta asociación, el emprendimiento de Germán Behrens es el que se encuentra más adelantado: su establecimiento acuícola, SEA Guardian SAS, produce 2000 kg anuales de tilapia del Nilo, *Oreochromis niloticus*, en un sistema de recirculación de agua (RAS) con una capacidad de 31,2 m^3, y cuenta con una pequeña planta de faena con habilitación municipal. Paralelamente, tiene un pequeño prototipo de acuaponia, donde también produce lechuga, de manera experimental. Mediante las entrevistas realizadas, el productor plantea la intención de transformar su sistema acuícola actual en un sistema acuapónico. De esta manera, como contribución desde esta tesis: se evaluará la viabilidad del proyecto mediante el desarrollo de un planteo productivo y se realizará un análisis de los costos de la actividad y de la rentabilidad del proyecto a través de un margen bruto.

Objetivo general

Evaluar productiva y económicamente el desarrollo de un sistema acuapónico en provincia de Buenos Aires.

Objetivos específicos

-Calcular los parámetros productivos proyectando un sistema acuapónico a partir de la instalación acuícola del establecimiento

-Calcular el margen bruto del proyecto

6. Desarrollo

a. Planteo productivo

Se parte actualmente de un sistema acuícola de 31,2 m^3; constituido por 4 tanques de fibra de vidrio de 7 m^3, 2 sedimentadores de 1 m^3, un caño colector de 0,8 m^3 y otro de 0,4 m^3. Con una biomasa de 2000 kg de peces, el sistema funciona a una densidad de peces de 71,43 kg/m^3. Debido a que el productor no calienta el agua durante el invierno, el ciclo productivo de las tilapias es de 12 meses. Un invernadero protege a los peces de las temperaturas más bajas de los días invernales. De este modo, obtiene una producción anual de 2000 kg. En un sistema de producción a temperatura constante se debe usar la cantidad de alimento para calcular la cantidad de peces en producción en función de su consumo diario promedio, pero este procedimiento no es adecuado para este caso. En la siguiente tabla se observan los principales parámetros productivos.

Parámetros productivos

Biomasa de peces	2000	kg
Volumen del tanque	28	m3
Densidad de peces	71,43	kg/m3
Coeficiente (10-30%)*	10%	10-30%
Volumen del filtro mecánico	2,8	m3
Ciclo productivo	12	meses

FUENTE: ELABORACION PROPIA

* Según Somerville et al. (2014), el volumen total del filtro mecánico debe estar entre el 10 y el 30% de volumen total de los tanques. Por lo que se recomienda agregar un sedimentador más de 1 m^3 para, al menos, superar el 10%.

Dimensionamiento del biofiltro

El biofiltro es el lugar donde las bacterias llevan a cabo el proceso de nitrificación. Por lo tanto, el volumen necesario del mismo está relacionado a la cantidad de amonio producido en el sistema y la tasa de conversión de amonio a nitrato de las bacterias.

Para calcular el volumen necesario del biofiltro, se debe partir de la cantidad máxima de alimento diario que se ingresa al sistema, que este caso se produce en los días de verano y llega a 20 kg diarios. Luego, se debe conocer el porcentaje de proteína que tiene el alimento. En este caso, el productor consigue un alimento balanceado con 32% de proteína; óptimo para la tilapia. Teniendo estos datos, se agrega a la fórmula el porcentaje de nitrógeno en las proteínas, que es 16%, y el porcentaje de nitrógeno que no es aprovechado, 61%. Este último es un dato es una estimación, del cual 55 puntos porcentuales corresponden a nitrógeno excretado por los peces, y 6 puntos porcentuales a nitrógeno no consumido o no digerido por lo peces y que no fue removido por el filtro mecánico (Somerville et al., 2014). Además, por cada gramo de nitrógeno se produce 1,2 gramos de amonio. De esta forma, se puede multiplicar la cantidad de alimento diario por 0,03748 para obtener la cantidad de amonio diario que deben metabolizar las bacterias.

$$20.000 \text{ g alimento} \times \frac{32 \text{ g proteina}}{100 \text{ g alimento}} \times \frac{16 \text{ g N}}{100 \text{ g proteina}} \times \frac{61 \text{ g N}}{100 \text{ g N}} \times \frac{1{,}2 \text{ g } NH_3}{1 \text{ g N}} = 749{,}57 \text{ g amonio}$$

$$20.000 \text{ g alimento} \times 0{,}03748 \frac{\text{g amonio}}{\text{g alimento}} = 749{,}57 \text{ g amonio}$$

Teniendo la cantidad de amonio diario producido, se procede a calcular la tasa de nitrificación de las bacterias. Esta tasa puede variar por muchos factores, entre ellos, físico-químicos (temperatura, PH, oxígeno), pero un valor prudente, según Somerville et al (Somerville et al., 2014), es 0,57 g de amonio por cada metro cuadrado de superficie por día. Teniendo una cantidad de amonio diario de 749,57 gramos, se necesita una superficie total de bacterias de 1315,03 m^2.

$$749{,}57\ \text{g amonio} \times \frac{1\ m^2}{0{,}57\ \text{g amonio}} = 1315{,}03\ m^2$$

El medio sobre el cual las colonias de bacterias se desarrollan dentro del biofiltro puede ser de distintos materiales. Según la superficie específica de ese material, la superficie de todas las partículas que componen un metro cúbico, se determina el tamaño del biofiltro. De este modo, materiales con alta superficie específica, como la arena, requerirán un biofiltro más pequeño, aunque con mayores riesgos de obstrucción del flujo de agua si los sólidos suspendidos no son correctamente eliminados del sistema. En nuestro caso, si usamos como medio unas bioesferas comerciales con 600 m^2/m^3 de superficie específica, el volumen del biofiltro debe ser de 2,2 m^3.

$$1315{,}03\ m^2 \times \frac{1\ m^3}{600\ m^2} = 2{,}2\ m^3$$

Producción de plantas

Para estimar la posible producción de plantas a partir de una cierta producción de peces, se debe conocer la cantidad de alimento diario que consumen: los desechos de estos van a nutrir a las plantas. Entre los productores está muy extendido el uso de la relación 1-7 para calcular la producción de plantas: la producción vegetal mensual es 7 veces la biomasa de peces. Si bien esta proporción, aunque muy exigente, puede darse, depende de muchos factores que pueden variar y lo más adecuado es calcular la proporción específica para cada sistema en particular. Es más útil equilibrar un sistema sobre la cantidad de alimento que ingresa que calcular directamente sobre la cantidad de pescado. En condiciones óptimas las tilapias consumen diariamente del 1,5 al 2% del peso vivo. Pero en este establecimiento, al no calentar el agua durante el invierno, consumen mucho menos, incluso solo cubren el mantenimiento durante los días más fríos invernales. Según datos aportados por el productor en base a su experiencia: el promedio anual de consumo diario de sus tilapias es del 0,7%. Sobre una biomasa de peces de 2000 kg, se suministran 14 kg de alimento.

Una vez determinada la cantidad de alimento diario que ingresa al sistema, se requiere de un factor que indique la proporción alimento-plantas. Somerville et al proponen un coeficiente para la tasa de alimentación, que sugiere la cantidad de alimento diario para peces por cada metro cuadrado de espacio de cultivo. Este coeficiente de la tasa de alimentación proporcionará un ecosistema equilibrado para los peces, las plantas y las bacterias, siempre que haya una biofiltración adecuada. Solo a modo de guía para sistemas domésticos, es necesario un coeficiente de entre 40 a 50 gramos de alimento diario por cada metro cuadrado de cultivo de plantas para hojas; y para plantas para fruto, de 50 a 80 gramos de alimento diario por cada metro cuadrado de cultivo (Somerville et al., 2014). La relación de tasa de alimentación más alta para las verduras de fruto representa la mayor cantidad de nutrientes necesarios para que estas plantas produzcan flores y frutas en comparación con las verduras de hoja verde. Pero según estudios de la Universidad de las Islas Vírgenes, para un sistema acuapónico con tilapias, a una densidad de peces más similar a la usada por el establecimiento de

estudio en esta tesis, con un sistema NFT en hidroponia: el coeficiente de tasa de alimentación debe estar entre 15 y 25 g/m^2/día (Rakocy, 2012). Esto se debe a que en la técnica de película nutritiva (NFT) es poco el volumen total de agua del sistema dentro del módulo hidropónico, en comparación con el cultivo de aguas profundas –técnica que consiste en grandes piletas sobre las cuales las plantas, suspendidas en planchuelas, hunden sus raíces– donde la gran mayoría del volumen total de agua está allí. De esta forma, la concentración de nutrientes en el agua es 4 veces más alta en aquella que en esta.

Debido a que la especie elegida para el cultivo en el módulo hidropónico, la lechuga, es una verdura de hoja, se puede seleccionar un valor de coeficiente de tasa de alimentación en el límite inferior del rango indicado. De esta forma, tomando un coeficiente de tasa de alimentación de 15 g/m^2/día: la superficie total para la producción de plantas debe ser de 933 m^2 (la cantidad de alimento diario dividido el coeficiente). Si consideramos que se pueden cultivar 25 plantas de lechuga por cada metro cuadrado, se pueden producir simultáneamente 23333,3 plantas. A un peso de cosecha de 250 gramos a los 30 días, la producción mensual por metro cuadrado es de 6,25 kg y la producción mensual total es de 5833,33 kg; resultando en una producción anual de 70.000 kg. La producción mensual se realiza de forma escalonada, siembra y cosecha de un grupo de plantas cada semana. Al ser el ciclo de producción de la lechuga de 30 días, se dividen en cuatro grupos. De esta forma, las plantas se encuentran en diferentes etapas de crecimiento, lo que permite tener una tasa de absorción de nutrientes más estable a lo largo del tiempo, la cual es más compatible con una tasa de alimentación constante. En la siguiente tabla se pueden observar los parámetros productivos de la producción de plantas.

Producción de plantas

Biomasa de peces	2000	kg
Tasa de alimentación de los peces	0,70%	% del peso vivo/día
Cantidad de alimento diario	14000	g/día
Coeficiente de tasa de alimentación	15	g de alimento/m2/día
Superficie total de plantas	933	m2
Plantas/m2	25	Plantas/m2
Cantidad de plantas	23333,3	Plantas
Peso de cosecha	250	g
Producción mensual por superficie	6,25	Kg/m2/mes
Producción mensual	5833,33	Kg/mes
Producción anual	70000	Kg

FUENTE: ELABORACION PROPIA

b. Margen bruto y resultado

Tipo de cambio

Se recurrió al uso de una moneda estable, como el dólar estadounidense, para realizar las proyecciones del planteo económico del establecimiento ya que la Argentina padece de persistente inflación galopante, alrededor de 50% anual. Y debido a que existe una multiplicidad de valores en el tipo de cambio, distorsión producto de las restricciones al libre acceso a la compra de la divisa, se optó por usar el valor del dólar CCL (contado con liquidación) por tratarse del de mayor volumen dentro de los mercados de dólar libres.

Para calcular el valor del dólar CCL, se compara la cotización en pesos argentinos de las acciones de una empresa argentina en la bolsa de comercio de Buenos Aires con la cotización en dólares de la misma empresa en la bolsa de Nueva York, multiplicado por un factor de conversión específico para esa acción. Y para que el valor del dólar CCL obtenido no esté sesgado por la fluctuación de esa acción en particular, se calculó el promedio de 5 acciones de gran volumen de transacción. Así, la fórmula empleada (Clave Bursátil, 2021) es la siguiente:

(BCBA:GGAL/NASDAQ:GGAL*10+BCBA:BMA/NYSE:BMA*10+BCBA:YPFD/NYSE:YPF+BCBA:PAMP/NYSE:PAM*25+BCBA:BBAR/NYSE:BBAR*3)/5

A su vez, se calculó el promedio mensual del dólar CCL, de la fecha en la cual se relevó cada precio en pesos argentinos, para evitar los sesgos de las fluctuaciones diarias. Las cotizaciones fueron obtenidas mediante la plataforma TradingView.

Ingreso bruto

Según los datos del planteo productivo, obtenemos la producción mensual y anual de peces y plantas –la producción mensual de peces es un promedio teórico. Multiplicándola por el precio obtenemos el ingreso bruto. El precio de venta es obtenido del productor y convertido en dólares mediante la metodología explicada.

Productos	Kg mensuales	Kg anuales	Precio U$S	Ingreso bruto mensual	Ingreso bruto anual
Lechugas	5833,33	70000	$ 1,13	**$ 6.570,46**	**$ 78.845,50**
Peces	166,7	2000	$ 5,30	**$ 882,68**	**$ 10.592,20**
Total				**$ 7.453,14**	**$ 89.437,70**

FUENTE: ELABORACION PROPIA

Costos directos

Los principales costos directos son la energía eléctrica para mantener el sistema en funcionamiento, el salario del empleado, el alimento, los rollos gofrados para envases, los plantines y los alevines.

Costos directos	Cantidad mensual	Precio U$S	Total mensual	Total anual
kWh	1293	$ 0,07	**$ 96,63**	**$ 1.159,56**
Salario del personal	1	$ 257,42	**$ 257,42**	**$ 3.089,01**
Kilos de alimento	420	$ 0,83	**$ 346,86**	**$ 4.162,28**
Plantines	23566,7	$ 0,032	**$ 765,70**	**$ 9.188,38**
Alevines	366,7	$ 0,56	**$ 206,50**	**$ 2.478,00**
Rollos gofrados	16,7	$ 1,23	**$ 20,50**	**$ 246,00**
Total			**$ 1.693,60**	**$ 20.323,23**

FUENTE: ELABORACION PROPIA

El precio del kilo de alimento incluye el costo del flete –el alimento es traído desde Bahía Blanca– y una pérdida del 3% –dato aportado por el productor en base a su experiencia. Para calcular el salario del empleado, ya que el productor mismo realiza el trabajo en el establecimiento, se tomó como referencia el sueldo básico anualizado del trabajo doméstico multiplicado por un coeficiente de cargas sociales de 1,5 (Piñeyro, 2015); el salario mensual es el promedio aritmético del salario anual. Por último, el precio de los plantines incluye una pérdida del 1%, y el de los alevines, del 10%.

Los impuestos que también forman parte de los costos directos están expresados en la siguiente tabla.

Impuesto	Alícuota	Débito fiscal	Crédito fiscal	Total mensual	Total anual
IVA		$ 1.293,52	$ 253,03	**$ 1.040,49**	**$ 12.485,91**
Impuesto IIBB	3,50%			**$ 260,86**	**$ 3.130,32**
Impuesto sobre deb. Y cred	1,20%			**$ 89,44**	**$ 1.073,25**
Comisiones sobre uso de tarjetas	4,00%			**$ 298,13**	**$ 3.577,51**
Tasa de Habilitación municipal				**$ 1,56**	**$ 18,77**
Tasa de matricula de pesca				**$ 31,29**	**$ 375,45**
Aporte autonomo				**$ 46,25**	**$ 554,94**
Total				**$ 1.768,01**	**$ 21.216,16**

FUENTE: ELABORACION PROPIA

Para el cálculo del IVA, que es el impuesto de mayor volumen en los costos directos y tiene gran incidencia financiera para el productor, se tomó una alícuota del 27% en la energía eléctrica, y del 21% para el resto de insumos: alimento, plantines, alevines y envases.

Amortizaciones

Además del cálculo del margen bruto, se decidió incorporar un cálculo sobre las amortizaciones más importantes, a modo de guía, y se observan en la siguiente tabla.

Producto	Precio U$S	Vida útil (años)	Amortización anual	Amort. mensual
Bomba de 1 HP de alto caudal	$ 438,03	3	146,01	12,17
Bomba de 2 HP sumergible para pozo	$ 375,45	3	125,15	10,43
Bomba de 1 HP para manejo en cosecha	$ 125,15	3	41,72	3,48
Turbina de 1 hp	$ 500,61	11	45,51	3,79
Freezer grande	$ 438,03	12	36,50	3,04
Freezer chico	$ 294,11	12	24,51	2,04
Sensores y termostatos	$ 187,73	3	62,58	5,21
Maquina de envasado al vacio	$ 156,44	5	31,29	2,61
4 tanques de fibra de vidrio de 7 m3	$ 4.641,53	50	92,83	7,74
Total			**606,09**	**50,51**

FUENTE: ELABORACION PROPIA

La vida útil de las bombas de agua es superior pero en la experiencia del productor, debido al mal servicio eléctrico, ninguna le duró más de 3 años. Lo mismo con los sensores y termostatos.

Resultado

El resultado tanto del margen bruto como del ejercicio se puede observar en la siguiente tabla.

Resultados	Total mensual	Total anual
Ingreso bruto	$ 7.453,14	$ 89.437,70
Costos directos	$ 3.461,62	$ 41.539,39
Margen Bruto	**$ 3.991,53**	**$ 47.898,32**
Amortizaciones	$ 50,51	$ 606,09
Resultado por producción	$ 3.941,02	$ 47.292,22
Impuesto a las ganancias (35%)	$ 1.379,36	$ 16.552,28
Resultado después de impuesto a las ganancias	**$ 2.561,66**	**$ 30.739,94**

FUENTE: ELABORACION PROPIA

El resultado del margen bruto mensual son 3991,53 dólares estadounidenses, que es un ciclo de producción de plantas; y el margen bruto anual son 47898,32 dólares estadounidenses, que es un ciclo de producción de peces. En la 2° mitad de la tabla se puede observar el resto del resultado del ejercicio a modo de guía. La ley nacional 27.231 para el Desarrollo Sustentable del Sector Acuícola (*InfoLEG - Ministerio de Economía y Finanzas Públicas - Argentina*, n.d.) contempla en su artículo 44 una amortización anticipada del 100% del valor de las maquinarias adquiridas, en el impuesto a las ganancias en dos ejercicios. Pero al no adherir aun a la ley la provincia de Buenos Aires, no puede aplicarse a este caso.

7. Conclusión

En cuanto al planteo productivo, la forma más precisa de calcular la producción vegetal a partir de la producción ictícola es mediante un factor, el coeficiente de tasa de alimentación, que vincule la cantidad de alimento diario con la superficie destinada a la horticultura. Este varía según las características del sistema y las especies que se produzcan, y debe ser calculado para cada producción en particular: para un sistema acuapónico que use la técnica de película nutritiva (NFT) en su componente hidropónico debe ser entre 15 y 25 g/m^2/día. Por su parte, el volumen del filtro biológico debe calcularse en base a la cantidad máxima de alimento diario que entra al sistema. Además, se recomienda la incorporación de un tercer sedimentador para que el volumen de los filtros mecánicos supere el 10% del volumen total de los tanques.

En cuanto al análisis económico, la primera conclusión que se observa del margen bruto es que la actividad que proporciona el principal ingreso en la acuaponia es la producción de plantas, y la producción de peces es un complemento económico, ecológico y del sistema de producción. Se podrá señalar que en este establecimiento en particular, la producción ictícola está en un nivel por debajo de sus plenas capacidades, pero la conclusión es similar, en distinto grado, aún en los establecimientos en los que esto se da. En concordancia con la idea anterior, observando la tabla de los costos directos, la obtención de los plantines es el principal costo superando al de los alevines, el alimento, la energía, el salario del empleado y los envases. De esta forma, en la situación actual, buscar autoabastecerse de plantines mediante producción propia es la manera más eficaz de reducir los costos de producción. También es útil el autoabastecimiento de alevines y de alimento balanceado, aunque con una incidencia menor. Por otro lado, resulta muy conveniente aumentar la producción de peces calentando el agua, lo que acortaría el ciclo de producción, aumentando la cantidad de alevines para reposición. Esto aumentaría el costo de la energía, el cual podría ser mitigado incorporando un biodigestor para obtener energía del desecho de los peces. Al aumentar la temperatura del agua, aumentaría el apetito de los peces y los kilos de alimento consumido; el incremento del alimento que ingresa al sistema permitiría ampliar la superficie destinada a hidroponia. De este modo, se reconfigurarían las proporciones de toda la tabla de costos directos.

En el aspecto impositivo, se ansía vehementemente que la provincia de Buenos Aires adhiera a la ley nacional 27.231 para el Desarrollo Sustentable del Sector Acuícola, ya que, entre otros beneficios, permite una amortización anticipada del 100% del valor de las maquinarias adquiridas sobre el impuesto a las ganancias para los primeros 2 años. Por otra parte, una reducción de la tasa de IVA al 10,5%, como poseen las otras actividades agropecuarias, permitiría un alivio financiero para el productor y un precio menor para el consumidor y, de este modo, que la carne de pescado, relegada en los hábitos alimenticios de la población, pueda competir con los productos cárnicos sustitutos. En un sentido más amplio, se debería incluir a la acuaponia en una visión de largo plazo que contemple disminución de impuestos, créditos para la inversión, reconocimiento legal e incentivos para una actividad en incipiente desarrollo. Una actividad que podría desarrollarse como las otras actividades agropecuarias: de las menos concentradas del país –casi 250.000 explotaciones agropecuarias, 91% administradas cotidianamente por el productor, según el Censo Nacional Agropecuario 2018 (INDEC, 2021)– y mejor distribuidas geográficamente; una actividad que produce alimentos de calidad, contribuye a la sustentabilidad disminuyendo la presión de pesca en los ríos y océanos y evitando la expulsión de desechos al ambiente, y que, con sus obstáculos por superar, puede convertirse en uno de los desarrollos innovadores del siglo XXI.

Temas abiertos

Deben contemplarse las alteraciones en los procesos productivos que producirá la marcada estacionalidad en la producción. La mejor forma de evitarlos es lograr una temperatura y tasa de alimentación más estables a lo largo del tiempo, por ejemplo, calentando el agua durante el invierno.

El principal aspecto económico que queda pendiente para investigar y desarrollar es la incorporación de un biodigestor al sistema de producción; no solamente por el hecho de que calentar el agua permitiría aumentar la producción de peces con el consiguiente aumento en el ingreso, sino también, porque la generación de energía a partir de los desechos de los peces resultaría en una disminución de los costos.

También se podría precisar aún más el coeficiente de tasa de alimentación dentro del rango 15-25 g/m^2/día según la variedad de lechuga cultivada, o en el cultivo simultaneo de 2 especies diferentes de plantas.

Por último, es conveniente incorporar al análisis económico el aprovechamiento de los subproductos: el cuero, para indumentaria y artesanías, y la cabeza y las aletas, para elaboración de fertilizantes.

Bibliografía

Actividad Pesquera de Argentina • El Sur del Sur. (n.d.). Retrieved April 18, 2021, from https://surdelsur.com/es/actividad-pesquera-argentina/

Candarle, P. (2016). Técnicas de Acuaponia. *Cenadac*, 1–47. https://www.academia.edu/download/59872871/160831_Tecnicas_de_Acuaponia20190626-82641-1bngeh9.pdf

Catania, E. (2016). *Diplomatura en acuicultura, Escuela Productor acuícola-FCA UNLZ. Apuntes de cátedra.*

Clave Bursátil. (2021). *Seminarios sobre mercados financieros.*

Colado, M. (2004). *Acerca del cultivo de tilapia nilotica y tilapia roja*. 16. https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/_archivos//000000_Especies/000008-Tilapia/071201_Acerca del Cultivo de Tilapia Roja o Del Nilo.pdf

Fabián Ballesteros, O. (2011). *PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE OSTRAS A ESTADOS UNIDOS DESDE LA BAHÍA DE SAN BLAS: ANÁLISIS DE VIABILIDAD Y PERSPECTIVAS* [Universidad Nacional de Tres de Febrero]. https://www.vetcomunicaciones.com.ar/uploadsarchivos/tesis._producci__n_y_comercializaci__n_ostras.pdf

FAO. (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. In *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020*. https://doi.org/10.4060/ca9229es

INDEC. (2021). *Censo Nacional Agropecuario 2018. Resultados definitivos*. https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018_resultados_definitivos.pdf

InfoLEG - Ministerio de Economía y Finanzas Públicas - Argentina. (n.d.). Retrieved December 21, 2021, from http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/255000-259999/257444/norma.htm

Kubitza, F. (2006). *Sistemas De Recirculacion Cerrada*. 9. https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/_archivos//000000_Otros sistemas/000004_Sistemas de recirculación cerrada.pdf

Luchini, L. (n.d.). *ACERCA DE LA INTRODUCCIÓN DE LAS ESPECIES DE "TILAPIAS" EN ARGENTINA Y ANTECEDENTES DE SU CULTIVO Y COMERCIALIZACION, EN OTROS PAISES DEL AREA LATINOAMERICANA.* Retrieved April 27, 2021, from https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/_archivos//000000_Especies/000008-Tilapia/071201_Introduccion de las Tilapias.pdf

Luchini, L. (2006). *TILAPIA: SU CULTIVO Y SISTEMAS DE PRODUCCION.* 14. https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/_archivos//000000_Especies/000008-Tilapia/071201_Generalidades acerca del cultivo (Parte 01).pdf

Panné Huidobro, S. (2019). *PRODUCCIÓN DE ACUICULTURA DESTINADA AL CONSUMO HUMANO*. https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/estadisticas/_archivos//000000_Producción/190000_Producción de Acuicultura destinada al consumo en Argentina - 2019.pdf

Piñeyro, V. (2015). *Administración rural, UCA. Apuntes de cátedra.*

Rakocy, J. E. (2012). Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture. In James H. Tidwell (Ed.), *Aquaculture Production Systems* (pp. 344–386). https://doi.org/10.1002/9781118250105

Ritchie, H., & Roser, M. (2018). Urbanization - Our World in Data. In *Our world in Data*. https://ourworldindata.org/urbanization

Roser, M. (2020). *Future Population Growth - Our World in Data*. Our World in Data.Org. https://ourworldindata.org/future-population-growth#progress-in-global-education-now-matters-for-the-size-of-the-global-population-in-the-21st-century

Roser, M., & Ritchie, H. (2021). *Seafood Production - Our World in Data*. Our World in Data.Org. https://ourworldindata.org/seafood-production

Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. In *FAO Fisheries and Aquaculture*. https://www.fao.org/3/i4021e/i4021e.pdf

UN Department of Economics and Social Affairs. (2015). *World Population Prospects - Population Division - United Nations*. The International Journal of Logistics Management. https://population.un.org/wpp2019/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/900

Anexos

Anexo 1

PRODUCCIÓN, UTILIZACIÓN Y COMERCIO DE LA PESCA Y LA ACUICULTURA EN EL MUNDO

	1986–1995	1996–2005	2006–2015	2016	2017	2018
	Promedio anual					
	(en millones de toneladas, peso vivo)					
Producción						
Pesca de captura						
Continental	6,4	8,3	10,6	11,4	11,9	12,0
Marina	80,5	83,0	79,3	78,3	81,2	84,4
Total de la pesca de captura	**86,9**	**91,4**	**89,8**	**89,6**	**93,1**	**96,4**
Acuicultura						
Continental	8,6	19,8	36,8	48,0	49,6	51,3
Marina	6,3	14,4	22,8	28,5	30,0	30,8
Total de la acuicultura	**14,9**	**34,2**	**59,7**	**76,5**	**79,5**	**82,1**
Total mundial de la pesca y la acuicultura	**101,8**	**125,6**	**149,5**	**166,1**	**172,7**	**178,5**
Utilización[2]						
Consumo humano	71,8	98,5	129,2	148,2	152,9	156,4
Usos no alimentarios	29,9	27,1	20,3	17,9	19,7	22,2
Población (*en miles de millones*)[3]	5,4	6,2	7,0	7,5	7,5	7,6
Consumo aparente per cápita (*kg*)	13,4	15,9	18,4	19,9	20,3	20,5
Comercio						
Exportaciones de pescado, en cantidad	34,9	46,7	56,7	59,5	64,9	67,1
Porcentaje de las exportaciones respecto de la producción total	*34,3%*	*37,2%*	*37,9%*	*35,8%*	*37,6%*	*37,6%*
Exportaciones de pescado, en valor (*miles de millones de USD*)	37,0	59,6	117,1	142,6	156,0	164,1

[1] Excluidos los mamíferos acuáticos, cocodrilos, lagartos y caimanes, las algas y otras plantas acuáticas. Las cantidades totales pueden no coincidir debido al redondeo.

[2] Los datos sobre utilización relativos a 2014-18 son estimaciones provisionales.

[3] Fuente de las cifras sobre población: Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (DAES), 2019.

Fuente: FAO

Anexo 2

PRODUCCIÓN ACUÍCOLA DE LOS PRINCIPALES GRUPOS DE ESPECIES POR CONTINENTE EN 2018

	África	Américas	Asia (– Chipre)	Europa (+ Chipre)	Oceanía	Mundo
	(en miles de toneladas, peso vivo)					
Acuicultura continental						
1. Peces de aleta	1 893	1 139	43 406	508	5	46 951
2. Crustáceos	0	73	3 579	0	0	3 653
3. Moluscos	...	...	207	...	...	207
4. Otros animales acuáticos	...	1	528	0	...	528
Total parcial	***1 893***	***1 213***	***47 719***	***508***	***6***	***51 339***
Acuicultura marina y costera						
1. Peces de aleta	291	1 059	3 995	1 892	92	7 328
2. Crustáceos	6	888	4 834	0	6	5 734
3. Moluscos	6	640	15 876	680	102	17 304
4. Otros animales acuáticos	0	...	387	3	0	390
Total parcial	***302***	***2 587***	***25 093***	***2 575***	***200***	***30 756***
Toda la acuicultura						
1. Peces de aleta	2 184	2 197	47 400	2 399	97	54 279
2. Crustáceos	6	961	8 414	0	6	9 387
3. Moluscos	6	640	16 083	680	102	17 511
4. Otros animales acuáticos	0	1	915	3	0	919
Total	**2 196**	**3 799**	**72 812**	**3 083**	**205**	**82 095**

NOTA: 0 = cantidad de producción inferior a 500 toneladas; ... = sin producción o datos de producción no disponibles.
FUENTE: FAO.

Fuente: FAO

Anexo 3

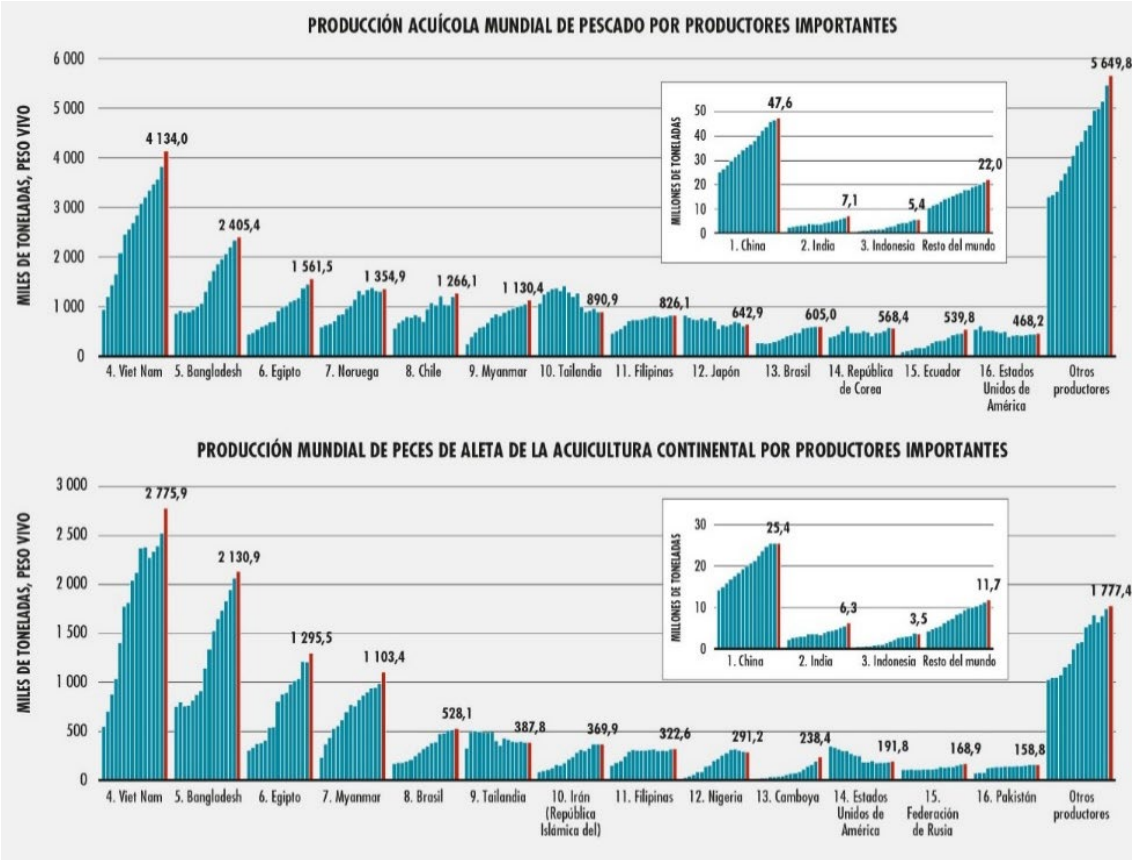
PRINCIPALES ESPECIES PRODUCIDAS EN LA ACUICULTURA MUNDIAL

	2010	2012	2014	2016	2018	Proporción de 2018
	(en miles de toneladas)					(porcentaje)
Peces de aleta						
Carpa herbívora, *Ctenopharyngodon idellus*	4 213,1	4 590,9	5 039,8	5 444,5	5 704,0	10,5
Carpa plateada, *Hypophthalmichthys molitrix*	3 972,0	3 863,8	4 575,4	4 717,0	4 788,5	8,8
Tilapia del Nilo, *Oreochromis niloticus*	2 657,7	3 342,2	3 758,4	4 165,0	4 525,4	8,3
Carpa común, *Cyprinus carpio*	3 331,0	3 493,9	3 866,3	4 054,7	4 189,5	7,7
Carpa cabezona, *Hypophthalmichthys* nobilis	2 496,9	2 646,4	2 957,6	3 161,5	3 143,7	5,8
Catla, *Catla catla*	2 526,4	2 260,6	2 269,4	2 509,4	3 041,3	5,6
Carassius spp.	2 137,8	2 232,6	2 511,9	2 726,7	2 772,3	5,1
Peces de agua dulce nep[1], *Osteichthyes*	1 355,9	1 857,4	1 983,5	2 582,0	2 545,1	4,7
Salmón del Atlántico, *Salmo salar*	1 437,1	2 074,4	2 348,1	2 247,3	2 435,9	4,5
Panga, *Pangasianodon hypophthalmus*	1 749,4	1 985,4	2 036,8	2 191,7	2 359,5	4,3
Labeo Roho, *Labeo rohita*	1 133,2	1 566,0	1 670,2	1 842,7	2 016,8	3,7
Chano, *Chanos chanos*	808,6	943,3	1 041,4	1 194,8	1 327,2	2,4
Clarias spp.	343,3	540,8	867,0	961,7	1 245,3	2,3
Tilapias nep, *Oreochromis* (= Tilapia) spp.	472,5	693,4	960,8	972,6	1 030,0	1,9
Trucha arco iris, *Oncorhynchus mykiss*	752,4	882,1	794,9	832,1	848,1	1,6
Carpa de Wuchang, *Megalobrama amblycephala*	629,2	642,8	710,3	858,4	783,5	1,4
Peces marinos nep, *Osteichthyes*	467,7	567,2	661,0	688,3	767,5	1,4
Carpa negra, *Mylopharyngodon piceus*	409,5	450,9	505,7	680,0	691,5	1,3
Ciprínidos nep, *Cyprinidae*	639,8	601,1	628,0	596,1	654,1	1,2
Bagre amarillo, *Pelteobagrus fulvidraco*	177,8	233,7	302,7	434,4	509,6	0,9
Otros peces de aleta	6 033,9	6 869,3	7 730,0	8 217,1	8 900,2	16,4
Total de peces de aleta	**37 745,1**	**42 338,2**	**47 219,1**	**51 078,0**	**54 279,0**	**100**
Crustáceos						
Camarón patiblanco, *Penaeus vannamei*	2 648,5	3 144,9	3 595,7	4 126,0	4 966,2	52,9
Cangrejo de las marismas, *Procambarus clarkii*	596,3	548,7	659,3	894,7	1 711,3	18,2
Cangrejo chino, *Eriocheir sinensis*	572,4	650,7	722,7	748,8	757,0	8,1
Langostino jumbo, *Penaeus monodon*	562,9	669,3	701,8	705,9	750,6	8,0
Camarón nipón, *Macrobrachium nipponense*	193,1	200,0	204,1	245,0	237,1	2,5
Langostino de río, *Macrobrachium rosenbergii*	217,7	216,2	233,7	238,4	234,4	2,5
Otros crustáceos	687,9	586,1	631,1	717,3	729,9	7,8
Total de crustáceos	**5 478,8**	**6 016,0**	**6 748,3**	**7 676,1**	**9 386,5**	**100**

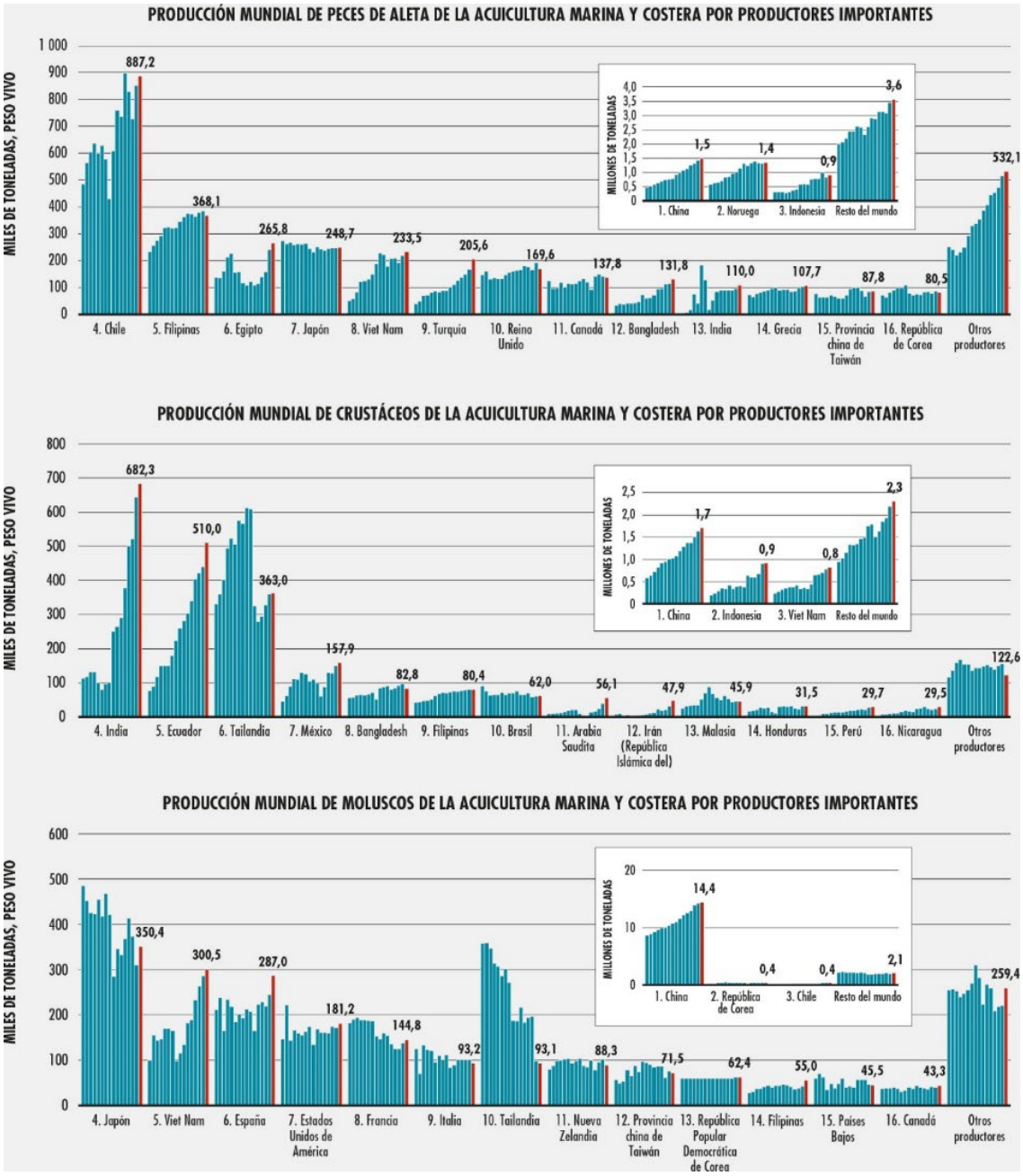
Fuente: FAO

Anexo 4

PRODUCCIÓN ACUÍCOLA DE REGIONES PRODUCTORAS Y PRODUCTORES IMPORTANTES DE LOS PRINCIPALES GRUPOS DE ESPECIES, 2003-2018



NOTA: Las columnas para cada entrada representan la producción correspondiente a los años entre 2003 y 2018.
FUENTE: FAO.


PRODUCCIÓN MUNDIAL DE PECES DE ALETA DE LA ACUICULTURA MARINA Y COSTERA POR PRODUCTORES IMPORTANTES
MILES DE TONELADAS, PESO VIVO
887,2
368,1
265,8
248,7
233,5
205,6
169,6
137,8
131,8
110,0
107,7
87,8
80,5
532,1
4. Chile
5. Filipinas
6. Egipto
7. Japón
8. Viet Nam
9. Turquía
10. Reino Unido
11. Canadá
12. Bangladesh
13. India
14. Grecia
15. Provincia china de Taiwán
16. República de Corea
Otros productores
MILLONES DE TONELADAS
1,5
1,4
0,9
3,6
1. China
2. Noruega
3. Indonesia
Resto del mundo
PRODUCCIÓN MUNDIAL DE CRUSTÁCEOS DE LA ACUICULTURA MARINA Y COSTERA POR PRODUCTORES IMPORTANTES
MILES DE TONELADAS, PESO VIVO
682,3
510,0
363,0
157,9
82,8
80,4
62,0
56,1
47,9
45,9
31,5
29,7
29,5
122,6
4. India
5. Ecuador
6. Tailandia
7. México
8. Bangladesh
9. Filipinas
10. Brasil
11. Arabia Saudita
12. Irán (República Islámica del)
13. Malasia
14. Honduras
15. Perú
16. Nicaragua
Otros productores
MILLONES DE TONELADAS
1,7
0,9
0,8
2,3
1. China
2. Indonesia
3. Viet Nam
Resto del mundo
PRODUCCIÓN MUNDIAL DE MOLUSCOS DE LA ACUICULTURA MARINA Y COSTERA POR PRODUCTORES IMPORTANTES
MILES DE TONELADAS, PESO VIVO
350,4
300,5
287,0
181,2
144,8
93,2
93,1
88,3
71,5
62,4
55,0
45,5
43,3
259,4
4. Japón
5. Viet Nam
6. España
7. Estados Unidos de América
8. Francia
9. Italia
10. Tailandia
11. Nueva Zelandia
12. Provincia china de Taiwán
13. República Popular Democrática de Corea
14. Filipinas
15. Países Bajos
16. Canadá
Otros productores
MILLONES DE TONELADAS
14,4
0,4
0,4
2,1
1. China
2. República de Corea
3. Chile
Resto del mundo

Fuente: FAO

Anexo 5

El Presidente de la Nación, Marcelo T. de Alvear, visitando un criadero de ostras en Mar del Plata, 1927.

FUENTE: ARCHIVO GENERAL DE LA NACION. AGN_DDF/ Caja 1004, inv: 37469.