

TRES AGUAS

CARACTERIZACIÓN DE EFLUENTES GENERADOS EN LA ESTACIÓN DE ACUICULTURA SALTO GRANDE, CONCORDIA, ENTRE RÍOS

Autor: Lic. Carlos Francisco Javier Fuser

Director: MSc Ing. Agrónomo Hegglin Juan Pablo

Monografía

Para optar al Grado Académico de

Especialista en Ingeniería Ambiental

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Concordia

Concordia, 2020

AGRADECIMIENTO

A Juan Pablo Hegglin por su ayuda incondicional, por su tenacidad y por aguantarme en este proceso.

A mi familia por el tremendo aguante y paciencia, Laura, Tomás y Renata.

A Soledad Andrade por brindarme sus conocimientos, consejos y por haber realizado los análisis de las muestras.

A Mariana Vidal, Ernestina Fioritto y Gustavo Gilbert por la capacitación brindada en el uso de la mochila de campo.

A Valentín Leites por sus valiosos conocimientos y aportes.

A Maximiliano Bertoni de CTMSG por poner a disposición los recursos necesarios para la realización del trabajo.

A mis compañeros del campo el Alambrado que colaboraron en el acondicionamiento y toma de muestras, en especial a Cristian Hernández.

A José M Schwab por su amistad y compañerismo.

A Graciela Rembado por su apoyo para cursar la especialización.

A Sofía Stanghelini por cuidar a mis hijos y compartir sus saberes.

Dedicada a “la Nydia” y mis amores *Laura, Tomás y Renata*

RESUMEN

El sector de la pesca y la acuicultura se ha expandido notablemente a nivel mundial en las últimas décadas. El aporte de la piscicultura al volumen total de pescado consumido comienza a incrementarse alcanzando el 52% en 2018. En correlación con lo que ocurre nivel mundial la producción acuícola Argentina se cuadruplicó en el periodo 1996 y 2014. Los métodos de producción en acuicultura han sido intensificados en respuesta al aumento de demanda. Cuando la intensificación se realiza inadecuadamente puede llevar a un aumento de impacto ambiental. En distintos lugares del mundo, la acuicultura es señalada como causante de contaminación de cursos de agua. Para lograr el desarrollo sustentable deben atenderse aspectos económicos, sociales y ambientales. En este último aspecto se enfoca este trabajo cuyo principal objetivo es caracterizar los efluentes generados por la producción de pacú (*Piaractus mesopotamicus*) y boga (*Ictalurus punctatus*) en un sistema de producción semintensivo en estanques ubicados en la Estación de Acuicultura Salto Grande (EASG) perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande (CTMSG) de Argentina y Uruguay. En el trabajo de campo se recolectaron muestras de agua de pozos que abastecen el sistema de producción, del medio de cultivo y de los efluentes de dos estanques con diferentes trayectorias productivas. Los resultados muestran que los indicadores productivos para las dos especies evaluadas presentaron valores aceptables; en el periodo evaluado se generaron 897 m³ de efluente; los valores obtenidos para el agua de pozo se encuentran dentro de los rangos deseables a excepción de la conductividad, pH y los nitratos del pozo N°1; la mayoría de los valores obtenidos para el medio de crianza se encuentran dentro de los parámetros deseables a excepción de la conductividad; los resultados obtenidos para los efluentes en los parámetros temperatura, compuestos nitrogenados, demanda biológica de oxígeno (DBO5), sólidos suspendidos totales (SST), turbidez y *esterichia coli* se encuentran dentro las normativas consideradas, mientras que los resultados obtenidos para oxígeno disuelto, pH, conductividad, clorofila y coliformes totales en al menos una de las muestras no cumplieron con lo establecido en las normativas. Los resultados obtenidos para ortofosfato y fósforo total son los que presentaron más valores fuera de los límites establecidos por la normativa.

Palabras Clave: Acuicultura. Piscicultura. Producción en estanques. Parámetros de calidad en efluentes. Boga. Pacú.

INDICE

AGRADECIMIENTO	II
RESUMEN	III
INDICE	IV
LISTA DE TABLAS	V
LISTA DE FIGURA	V
GLOSARIO	V
ABREVIATURAS	VII
INTRODUCCIÓN	- 8 -
OBJETIVOS	- 10 -
Objetivo general	- 10 -
Objetivos específicos	- 10 -
METODOLOGÍA	- 10 -
ESTACIÓN ACUICULTURA SALTO GRANDE	- 14 -
Sistema de producción	- 14 -
Alimentación	- 15 -
Trayectoria de los estanques	- 16 -
Trayectoria Estanque N°2	- 16 -
Trayectoria Estanque N°5	- 18 -
RESULTADOS	- 21 -
Volumen de efluente generado	- 21 -
Calidad del agua de pozo	- 22 -
Calidad del medio de crianza	- 22 -
Calidad del efluente	- 24 -
DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN	- 25 -
CONSIDERACIONES FINALES Y PERSPECTIVAS FUTURAS	- 30 -
BIBLIOGRAFÍA	- 32 -

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros medidos y metodología de referencia.

Tabla 2: Trayectoria del estanque N°2, Especie Boga, carga final objetivo 1 kg/m².

Tabla 3: Trayectoria del estanque N°5, Especie Pacú, carga final objetivo 2.4 kg/m².

Tabla 4: Efluente generado. Elaboración propia en base a datos meteorológicos EEA INTA Concordia.

Tabla 5: Parámetros de calidad del agua de pozo y parámetros deseables para la producción de peces. Elaboración propia en base a (1) FAO (1999) y (2) Alvarado (1998).

Tabla 6: Calidad del agua de crianza del estanque N°2 y parámetros deseables para la producción de peces. Elaboración propia en base a FAO (1999).

Tabla 7: Calidad del agua de crianza del estanque N°2 y parámetros deseables para la producción de peces. Elaboración propia en base a FAO (1999)

Tabla 8: Calidad de efluentes y límites establecidos por normativas.

Tabla 9: Indicador visual de parámetros evaluados en los efluentes de la EASG.

LISTA DE FIGURA

Fig. 1: a) extracción de muestra en medio de crianza en la Estación de Acuicultura Salto Grande (EASG) con caña telescópica, b) traspaso de muestra a envase esterilizado y c) sonda multiparamétrica.

Fig. 2: a) desagüe previo al llenado de los estanques, b) desagüe elevado para la toma muestra del efluente y c) zanja colectora de los desagües de los estanques y estanque de recuperación de nutrientes.

Fig. 3: a) Mochila de campo y sus elementos b) equipo portátil y c) proceso de análisis de los parámetros realizados con el Test Kits Químicos.

Fig.4: a) retroexcavadora construyendo los estanques en la EASG, b) vista aérea de los 5 estanques de producción de la EASG.

Fig.5: biometría realizada en la EASG en 2018 utilizando terrafa o esparavel.

Fig. 6: ejemplar de boga, biometría septiembre 2020.

Fig.7: ejemplar de pacú, biometría septiembre 2020.

Fig.8: a) esquema estanque N°2, b) esquema estanque N°5.

GLOSARIO

Acuicultura: incluye la producción de peces, plantas acuáticas, crustáceos y moluscos.

Alevín: pez de corta edad y pequeño tamaño (5 a 20 gr)

Autóctonos: en términos biológicos autóctono es algo propio de un país o región en la que vive o es originario del ecosistema, paisaje, región o bioma en el que vive. Se hace esta

diferencia para distinguirlas de las especies exóticas que una vez que colonizan, nacen y residen en el mismo lugar.

Asignación diaria de alimento: cantidad de alimento suministrada en función de la biomasa del estanque.

Bacterias: microorganismos procariotas que carecen de un núcleo rodeado por membranas y de organelas. Presentan tamaño reducido (por lo general entre 0,5 y 5 μm de longitud) y diversas formas, incluyendo esferas (cocos), barras (bacilos), filamentos curvados (vibrios) y helicoidales (espirilos y espiroquetas).

Biometría: es la ciencia y la tecnología dedicada a medir y analizar datos biológicos.

Biomasa: kilogramos totales de pez de un estanque

Carga: kg de pez/ m^2

Ciclo Productivo: Cría y engorde de peces, desde alevín 5gr a peso comercial 1,3 kg (15 meses).

Detritos: Para la biología, los detritos son aquellos sólidos que surgen cuando la materia orgánica se descompone. Se trata, por lo tanto, de materia muerta que procede de animales o plantas.

Efluente: Residuos sólidos y líquidos contenidos en el agua de descarga de los sistemas productivos.

Eutrofización: Proceso natural en ecosistemas acuáticos, caracterizado por un aumento en la concentración de nutrientes como nitratos y fosfatos, con los consiguientes cambios en la composición de la comunidad de seres vivos.

Excretas: Sustancias de desecho que son eliminadas por el organismo.

Fito Plancton: son los seres vivos de origen vegetal que viven flotando en la columna de agua. Son organismos autótrofos capaces de realizar la fotosíntesis y son la principal fuente de oxígeno natural dentro de los estanques.

Piscicultura: La piscicultura tiene por objeto el cultivo racional de los peces, lo que comprende particularmente el control de su crecimiento y su reproducción. Se practica en estanques naturales o artificiales, vigila y regula la multiplicación, alimentación y el crecimiento de los peces, así como la puesta en funcionamiento y mantenimiento de estos recintos acuáticos, en lugar de dejar a la naturaleza encargarse de estas cuestiones.

Juvenil: pez pequeño que superó la etapa de alevín, su peso va desde los 20 gr hasta los 100 gr.

Plancton: Conjunto de seres microscópicos de origen animal (zooplancton) o vegetal (fitoplancton) presentes en aguas marinas y de lagos, que constituyen el alimento básico de diversos animales superiores.

Sedimento: Es la materia que, después de haber estado en suspensión en el agua del estanque, termina en el fondo de los mismos.

Zoo Plancton: Son organismos que componen el plancton, son heterótrofos y no tienen capacidad autótrofa. Entre ellos se pueden encontrar organismos herbívoros, carnívoros y omnívoros.

ABREVIATURAS

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

EASG: Estación de Acuicultura Salto Grande.

CTMSG: Comisión Técnica Mixta de Salto Grande.

GDPV: Ganancia Diaria de Peso Vivo.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, por sigla en inglés Food and Agriculture Organization of the United Nations.

SOFIA: Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura, por sigla en inglés State of World Fisheries and Aquaculture.

MAGYP: Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca

SEOYSP: Secretaría de Estado Obras y Servicios Públicos.

CARU: Comisión Administradora del Río Uruguay.

ROU: República Oriental del Uruguay.

DBO₅: Demanda biológica de oxígeno.

DQO: Demanda química de oxígeno.

pH: Potencial Hidrógeno.

OD: Oxígeno Disuelto.

E1: Estanque N°1.

E2: Estanque N°2.

INTRODUCCIÓN

El sector de la pesca y la acuicultura se ha expandido notablemente a nivel mundial en las últimas décadas alcanzando en un récord histórico de producción en 2018 de unas 179 millones de toneladas y un consumo de pescado de 20,5 kg/hab/año. Se necesitaran 50 millones de toneladas adicionales para alimentar la población mundial en 2030. (FAO, 2020)

Por otra parte a partir de la década del 90, el aporte de la piscicultura al volumen total de pescado consumido comienza a incrementarse. Para el 2018, el 52 % del pescado consumido a nivel mundial es aportado por la piscicultura (FAO, 2020).

En correlación con lo que ocurre a nivel mundial, la producción acuícola Argentina se cuadruplicó en el periodo 1996 y 2014. Para este último año, la producción alcanzó las 4.027 tn y un consumo de 5 kg/hab/año, siendo el pacú la especie de mayor producción actual con un 58 % de participación. (Huidobro, 2016).

Los métodos de producción en acuicultura han sido intensificados en respuesta al aumento de demanda. Cuando la intensificación es conducida inadecuadamente puede llevar a un aumento de impacto ambiental en términos de producción de desechos y uso de agua. (Silveira Guerra Moura et al., 2013)

En distintos lugares del mundo, donde la actividad está más difundida y los emprendimientos son de mayor escala, muchas veces son señalados como causantes de la contaminación de cursos de agua. (Leites, 2020)

La piscicultura, al igual que otras actividades de producción animal, genera residuos sólidos y líquidos contenidos en las aguas de descarga de sistemas productivos, también llamados efluentes. (Dormon, 2008). Los trabajos de Dormon (2008) y Pardo et al., (2006), indican que los riegos potenciales de los efluentes generados por piscicultura en estanques pueden ser: físicos, químicos, microbiológicos, genéticos y aquellos provenientes de tratamientos sanitarios.

La piscicultura es una actividad altamente dependiente del agua, pudiendo contribuir a la degradación de este recurso, si se emplean técnicas de cultivo inadecuadas, diseños de instalaciones inapropiados y no se consideran tratamientos de las agua residuales (Dormon, 2008). Dentro de las fuentes de contaminación el suministro alimento es el principal causante del deterioro de la calidad del agua, solamente el 30 % de los nutrientes suministrado son convertidos en biomasa de peces, las excreciones y el alimento no consumido se transforman en fuente de contaminación para los estanques y son acumulado en el sedimento o librado en el efluente (Pardo, et al., 2006). Generalmente cuando los cultivos tienen mayor densidad de siembra, mayor es la dependencia de alimentos balanceados (Imbacuan, 2011)

Las técnicas habituales de cultivo de peces, pueden generar impactos negativos sobre el medio ambiente, en especial hay que considerar los asociados a las descargas de sus efluentes

caracterizados por ser ricos en materia orgánica, nutrientes y sólidos en suspensión que pueden alterar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua receptores (por ej. ríos, arroyos, lagunas), y por lo tanto las poblaciones de organismos acuáticos (Imbacuan, 2011).

En concordancia con lo antes expresado, “los efluentes piscícolas producen impactos por nitrógeno, fósforo, materia orgánica y patógenos, capaces de causar eutrofización y limitar los usos de los cuerpos receptores”. (Figueroa, 2011).

En piscicultura semintensiva se generan dos tipos de efluentes en primer lugar los relacionados con el manejo de menor volumen (5 a 20 % del estanque) y en segundo lugar los generados durante la cosecha (95 a 100 % del estanque). La fracción más contaminante, es la que corresponde al 20% del volumen final del estanque que generalmente se vacía durante la cosecha y tiene las mayores cantidades de nutrientes y sólidos en suspensión. (Pardo et al., 2006).

Para que una actividad sea sustentable, deben atenderse los aspectos ambientales, económicos y sociales. Pensando a largo plazo, el concepto de sustentabilidad es aquel que consigue atender las necesidades humanas (alimento, renta, servicios o bienestar general), manejando de manera integrada y eficiente los recursos naturales. (Kubitza, 2010).

En el mismo sentido, los emprendimientos de acuicultura deben operar con responsabilidad para cumplir con el código de Buenas Prácticas de la actividad propuestas por la FAO en 1995, cuyo objetivo es el de minimizar cualquier impacto negativo sobre la salud humana y el medio ambiente, incluyendo cualquier potencial cambio ecológico. (MAGyP, 2010). Al indagar en el estado actual del conocimiento en torno al sector acuícola en Argentina se comprobó que existen numerosos trabajos que describen la estructura del sector y los sistemas de producción, entre los que se encuentran los aportes de Huidobro (2008, 2016 y 2019), MAGyP (2010), Della Rosa et al. (2014), Kubitza (2010) y Luchini (2012), mientras que, la bibliografía relevada en torno a los efluentes generados en sistemas de producción de peces en estanques es muy limitada.

La escasa información de la calidad de los efluentes generados, las potencialidades de la provincia para el desarrollo del sector, la posibilidad de contar con un sitio para realizar el trabajo de campo, el instrumental para realizar los análisis pertinentes, la posibilidad de generar información de base para el tratamiento, la evaluación de usos potenciales y el aporte de técnicos experimentados en la temática, motivan y justifican el presente estudio.

Enmarcada en el contexto de aumento de consumo mundial de pescado y expansión de la acuicultura esta monografía pretende aportar a la generación de sistemas productivos sustentables desde su dimensión ambiental. Abordando como problema de investigación el potencial impacto contaminante de los efluentes de la producción de peces en estanque y se propone indagar en las características de los efluentes generados por dos especies de autóctonas peces del río Uruguay.

OBJETIVOS

Objetivo general

Caracterizar los efluentes generados por la producción de pacú (*Piaractus mesopotamicus*) y boga (*Ileporinus obtusidens*) en un sistema de producción semintensivo de la Estación de Acuicultura Salto Grande (EASG).

Objetivos específicos

- Describir el proceso productivo del caso de estudio.
- Determinar los parámetros de calidad del agua de pozo y del medio de crianza.
- Analizar volumen generado y parámetros de calidad del efluente.
- Comparar los datos obtenidos para los efluentes de la EASG con los límites establecidos en la normativa vigente.

A continuación se detallan las preguntas que guían el proceso de investigación: ¿qué volumen de efluente se generan? ¿Varía la calidad de los efluentes en función de la especie y la carga utilizada? ¿Qué parámetros se encuentran cercanos a los límites establecidos por la normativa? ¿Existe relación entre la calidad del medio de crianza y los efluentes generados? ¿Qué tipos de contaminación puede generar la acuicultura en estanques? ¿Puede considerarse a la acuicultura una producción de bajo impacto ambiental?

Esta monografía tiene un enfoque metodológico exploratorio y descriptivo, no pretende generalizar resultados de manera probabilística.

METODOLOGÍA

La Estación de Acuicultura Salto Grande (EASG) es una iniciativa surgida a través del convenio de cooperación técnica entre el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Comisión Técnica Mixta de la represa de Salto Grande (CTMSG). Está ubicada hacia el norte del ejido de la Ciudad de Concordia, Entre Ríos, en el campo anexo El Alambrado perteneciente al INTA de esta ciudad, situado a escasos metros del complejo hidroeléctrico Salto Grande.

El clima de la ciudad de Concordia se caracteriza por una temperatura media anual de 18.7°C, temperaturas medias de 25.3°C para el mes más cálido (enero) y de 12.5°C para el mes más frío (julio). El período medio libre de heladas es de 10 meses, con una frecuencia media anual de 8,6 heladas meteorológicas. El promedio anual de precipitaciones 1373 mm, aunque el balance hidrológico registra ligeros déficits en diciembre, enero y febrero. De acuerdo con la clasificación de Köppen-Geiger y el régimen termoplumiométrico de Concordia, la región corresponde con el clima templado cálido (subtropical) sin estación seca. (INTA , 2018)

Para llevar adelante el trabajo de campo se realizaron muestreos en las “tres aguas” de interés para el sistema de producción semintensivo: agua de pozo, del medio de cultivo y los efluentes de dos estanques con diferentes trayectorias productivas.

Las mismas fueron obtenidas en las bocas de los dos pozos de aguas subterráneas de la EASG en el mes de marzo de 2019 previo al comienzo del ciclo productivo actual. Para tomar las muestras se limpiaron las bocas de las canillas, se mantuvieron funcionando las bombas durante 10 minutos con el propósito de estabilizar el caudal y eliminar posibles restos de agua. Posteriormente, se colocaron en una heladera portátil para ser trasladadas al laboratorio donde se realizaron los análisis.

Para estudiar las condiciones del medio de crianza se realizaron tres muestreos en fechas diferentes. Estas fechas fueron elegidas con el propósito de reflejar diferentes situaciones respecto a la alimentación y a la actividad de los peces dentro de los estanques.

Los muestreos fueron realizados entre las 10 hs y las 11 hs de la mañana. Las muestras se extrajeron de la superficie del estanque, además se complementaron con datos de campos obtenidos con sonda multiparamétrica: temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad (Fig. 1).



Fig. 1: a) Extracción de muestra medio de crianza en la Estación de Acuicultura Salto Grande (EASG) con caña telescópica, b) traspaso de muestra a envase esterilizado y c) sonda multiparamétrica.

La primera fecha de muestreo corresponde al momento en que se comenzó a alimentar los peces 10 de octubre de 2019 cuando las temperaturas subieron por encima de 15 °C. El segundo muestreo se realizó el 29 de enero de 2019 en una situación de pleno verano con una temperatura del agua extrema de 30 °C y plena alimentación. El tercer muestreo se realizó el 1 de junio de 2020 en una situación de pleno invierno momento en el cual no se suministra alimento a los peces

Para estudiar las condiciones del efluente se realizaron tres muestreos en fechas diferentes durante 2020. La primera fecha de muestreo fue el 11 de junio, la segunda el 24 de junio y la tercera el 16 de julio.

Los muestreos fueron realizados entre las 8 hs y las 9 hs de la mañana. Las muestras se extrajeron de los desagües situados en el fondo de los estanques. Para tomar las muestras se abrieron las esclusas y se dejó correr el efluente durante un minuto para eliminar el agua

retenida dentro del caño de desagüe (Fig. 2). Al igual que en los casos anteriores, las muestras fueron rotuladas y colocadas en una heladera portátil para ser trasladadas al laboratorio.



Fig. 2: a) Desagüe previo al llenado de los estanques, b) desagüe elevado para la toma muestra del efluente y c) zanja colectora de los desagües de los estanques y estanque de recuperación de nutrientes.

Con el objetivo de complementar los análisis realizados en laboratorio, se midieron con una mochila de campo provista por un equipo portátil y pequeño marca HANNA, modelo *waterproof* que mide instantáneamente los siguientes parámetros: Temperatura, pH y conductividad y un Test Kits Químicos marca HANNA con el que se analizaron en campo los parámetros fosfato, nitrato y oxígeno disuelto (Fig. 3).



Fig. 3: a) Mochila de campo y sus elementos b) equipo portátil y c) proceso de análisis de los parámetros realizados con el Test Kits Químicos.

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio perteneciente al área de gestión ambiental de la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande, ubicado a dos km de distancia de la EASG.

En la Tabla 1 se resumen los parámetros determinados en el laboratorio de las muestras tomadas en el establecimiento las “tres aguas” y el método utilizado para su análisis.

Tabla 1: Parámetros evaluados y métodos de análisis

PARAMETROS	UNIDAD	METODOLOGIA DE REFERENCIA	LDC	CARGA HORARIA DEL ANÁLISIS
pH	und pH	4500 H ⁺ B Stándard Methods 22nd Edition.	0,001 und pH	1hs
Temperatura	°C	2550 A Stándard Methods 22nd Edition.	0,1 °C	2hs
Conductividad	µS/cm	2510 B Stándard Methods 22nd Edition.	0,01 µS/cm	1hs
Turbidez	NTU	2130 B Stándard Methods 22nd Edition.	0,01 NTU	1hs
Solidos Suspendidos 105°C	mg/l	2540 D Stándard Methods 22nd Edition.	0,1 mg/l	2h
Solidos Suspendidos 550°C	mg/l	2540 E Stándard Methods 22nd Edition.	0,1 mg/l	24hs
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	5220 D Stándard Methods 22nd Edition	3 mg/l	48 hs
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días	mg/l	5210 D Stándard Methods 22nd Edition	3 mg/l	120hs
Clorofila "a"	µg/l	10200 H Stándard Methods 22nd Edition	3 µg/l	24hs
Coliformes Totales	UFC/100 ml	9222 H Stándard Methods 22nd Edition	1 UFC/ml	24hs
Coliformes Fecales (termotolerantes)	UFC/100 ml	9222 D Stándard Methods 22nd Edition	1 UFC/ml	24hs
E. coli	UFC/100 ml	9222 H Stándard Methods 22nd Edition	1 UFC/ml	24hs
Nitrógeno total	mg N/l	DIN 38405-9, EN ISO 11905-1	0,50 mg N/l	2hs
Nitrógeno Amoniacal	mg NH ₄ -N/ml	4500-NH ₃ F Stándard Methods 22nd Edition	0,020 NH ₄ -N/ml	1hs
Nitrato	mg NO ₃ -N/ml	DIN 38405-9	0,20 mg NO ₃ -N/ml	1hs
Nitrito	mg NO ₂ -N/ml	4500-NO ₂ B Stándard Methods 22nd Edition	0,008 NO ₂ -N/ml	1hs
Fósforo total	mg P/ml	4500-P E Stándard Methods 22nd Edition	0,025 mg P/ml	2hs
Ortofosfato	mg PO ₄ -P/ml	4500-P E Stándard Methods 22nd Edition	0,02 mg PO ₄ -P/ml	1hs

Como fuente primaria de información se utilizó el material generado en los muestreos de las tres aguas, se mantuvieron entrevistas semi-estructuradas a partir de guiones que permitieron evacuar dudas con informantes clave en las distintas etapas de esta investigación (Licenciado en biología, Licenciadas en farmacia, Ingeniero agrónomo) que guiaron esta monografía. Además se realizaron diferentes trabajos en la EASG (alimentación, biometrías, manejo del agua) que permitieron la observación cotidiana de la trayectoria productiva de los estanques.

Se indagó en diferentes fuentes secundarias de información. Se realizó un trabajo de revisión de material bibliográfico referido a acuicultura en general (FAO, 1999, 2020; MAGyP, 2010, 2015, 2019) efluentes en particular, (Global Aquaculture Alliance, 2003; Silveira et al., 2013; Chaux et al., 2013) y las normativas vigentes respecto a efluentes (ROU, 1979; SEOYSP, 2002; SEC.AMB.ER, 2015; CARU, 2019).

Para analizar los datos se cuantificó el volumen de efluentes generados, se presentaron los valores relevados para el agua de pozo y medio de cultivo y se los cotejó con los parámetros de agua deseables para la producción de peces. Luego se presentaron los valores obtenidos para los efluentes, se los confrontó con la normativa vigente para evaluar que parámetros se encuentran fuera de los límites establecidos.

ESTACIÓN ACUICULTURA SALTO GRANDE

En 2016 se comenzó a construir la EASG cuyo principal objetivo es contribuir al desarrollo de la acuicultura sostenible en el centro norte de Uruguay y centro de Argentina, con inclusión de peces nativos de interés comercial. Dentro de los objetivos particulares se prevé la puesta a punto de acuicultura de especies nativas: pacú, sábalo, boga, con fines comerciales, el aporte a la conservación de especies a través de bajar la presión sobre el recurso y de ampliar el conocimiento de la biología básica de las especies cultivadas y la creación de un espacio didáctico donde generar y compartir información.

Se construyeron 5 estanques para producción de 8 m ancho x 40 m de largo y una profundidad 2 m y un estanque de recuperación de nutrientes de 10 m x 30 m y 2 m de profundidad (Fig.4). Los estanques fueron construidos sobre campo natural excavados en la tierra (sin utilización de membranas impermeables) y el sobrante de esta se utilizó para la construcción de los albardones que evita el ingreso de agua de escorrentía a los estanques.



Fig.4: a) retroexcavadora construyendo los estanques en la EASG, b) vista aérea de los 5 estanques de producción de la EASG

Sistema de producción

Los sistemas de producción se definen de acuerdo a la carga máxima que soportan. La carga indica la biomasa kg totales de peces que se pueden criar en un cuerpo de agua (kg/m² de estanque).

Para la EASG se eligió un sistema de producción semintensivo cuyas características principales son: la aireación y el recambio de agua según parámetros de calidad que se miden cotidianamente. Para estos sistemas la bibliografía recomienda una carga de 600 gr de pez/m², es decir que en cada estanque de 320 m² se podrían criar 150 peces hasta peso comercial de 1.3kg. En la EASG se realizan diferentes pruebas para ajustar la carga máxima que soportan los estanques.

Alimentación

Durante el ciclo productivo se utilizan dos tipos de alimento, por un lado el alimento natural presente en los estanques y por el otro alimento balanceado comercial suministrado en forma regular.

Los alimentos naturales pueden ser detritos, bacterias, plancton, gusanos, insectos, caracoles, plantas acuáticas y peces. Estos van desde tamaños microscópicos a aquellos relativamente grandes, pueden estar vivos o muertos (detrito) y provenir de descomposición bacterial. Su abundancia depende en gran medida de la calidad del agua. La aplicación de cal, la fertilización y en particular la fertilización orgánica, pueden ayudar a proporcionar a los peces un buen suministro de alimentos naturales. (FAO, 1999)

En relación al alimento balanceado comercial, en la EASG se utilizan dos tipos de alimento según las siguientes etapas:

Etapa inicial ALEJU¹: se extiende normalmente desde enero hasta mediados de mayo del primer año y se utiliza un alimento balanceado comercial extrusado. En este periodo los peces alcanzan los 200 gr.

Etapa Final JUPECO²: se extiende normalmente desde mediados de septiembre hasta mediados de mayo del segundo año y se utiliza un alimento balanceado comercial extrusado (composición nutricional ver anexo N°4). En este periodo los peces alcanzan el peso comercial de 1,3 kg .

Para calcular la asignación diaria de alimento se realizan biometrías (Fig. 5). Estas consisten en extraer con red tipo terrafa y pesar un 10 % de los peces sembrados en el estanque. Para determinar la biomasa total se realiza un promedio del peso de las muestras obtenidas y se multiplica por la cantidad de peces sembrados inicialmente.

¹ Etapa desde alevín a juvenil

² Etapa desde juvenil a peso comercial



Fig.5: Biometría realizada en la EASG en 2018 utilizando terrafa o esparavel

Trayectoria de los estanques

Los estanques seleccionados para esta monografía fueron el N°2 (E2) y el N°5(E5). El E2 fue elegido porque en el mismo se realiza por primera vez en la historia de la EASG una crianza de la especie boga y el E5 se eligió porque fue sembrado para evaluar el comportamiento de la especie pacú con una carga alta, que apunta a establecer el límite máximo sin resentir la productividad.

Trayectoria Estanque N°2

El 14 de junio de 2019, se sembraron 294 bogas de 60 gr. Se apuntó a una carga objetivo final de 1 kg/m² considerando un 15% de mortandad y un peso promedio de 1.3 kg por pieza a cosecha. La etapa de alimentación comenzó a principios de octubre de 2019 cuando las temperaturas del agua se estabilizaron por encima de 15°C, por un periodo de dos meses se entregó alimento iniciador al 6% de la biomasa, en total y se entregaron 60 kg. A partir de diciembre de 2019 y hasta mediados de mayo de 2020 se entregaron 765 kg de terminador a razón del 3% a 2% de la biomasa. En total se entregaron 825 kg de alimento.

A continuación se muestra la trayectoria del estanque N°2 (Tabla 5) desde la siembra de juveniles hasta la última biometría (Fig.6) realizada a mediados de septiembre de 2020. Se incluyen además los indicadores productivos: Ganancia diaria de peso vivo (GDPV) y conversión global del periodo.

Tabla 2: Trayectoria del estanque N°2, Especie Boga, carga final objetivo 1 kg/m2

TRAYECTORIA DEL ESTANQUE N°2	
Especie: Boga	
Carga Objetivo Final: 1 kg/m2	
Actividad	Fecha
Siembra	14/6/2019
N° de Juveniles	294
Peso X	0,06
Supervivencia 85%	250
Biomasa	15 kg
Comienzo Iniciador	1/10/2019
Asignación	6%
Ración/día	1,0 kg
Fin Iniciador	1/12/2019
Duración Etapa 1	61
Total kg alimento Etapa1	59 kg
Comienzo Etapa N°2 Terminador	1/12/2019
Peso X estimado etapa 1	0,220 kg
Biomasa Estimada etapa 1	55 kg
Asignación	4%
Ración/día	2,42 kg
Fin etapa N°2	6/2/2020
Duración de la Etapa N°2	67
Total kg alimento Etapa2	162 kg
Biometría	6/2/2020
Peso X biometría	0,698 kg
Comienzo Etapa N° 3 Terminador	6/2/2020
Biomasa Etapa N°3	174 kg
Asignación	4%
Ración/día	6 kg
Fin etapa N°3	15/5/2020
Duración Etapa 3	99,00
Total kg alimento Etapa 3	604 kg
Biometría	15/9/2020
Peso X	1,55 kg
Biomasa	387 kg
Días totales	459
GDPV	3,2 gr
Conversión	2,13



Fig. 6: Ejemplar de boga, biometría septiembre 2020

Manejo del agua: El volumen inicial de agua en el estanque al momento de la siembra se estima en 576 m³. Como las bogas se sembraron en invierno, durante esta estación se renovaron 115 m³ con el propósito de elevar la temperatura. (Seis horas diarias, durante seis días). Este mismo volumen de renovación se repitió durante el verano y el segundo invierno. En total se incorporaron 345 m³ de agua de pozo y se generaron 345 m³ de efluente.

Trayectoria Estanque N°5

El 7 de octubre de 2019, se sembraron 700 pacú de 9 gr. Se apuntó a una carga objetivo final de 2.4 kg/m² considerando un 15% de mortandad (normal para estos sistemas productivos) y un peso promedio de 1.3 kg por pieza a cosecha. La etapa de alimentación comenzó a principios de octubre de 2019, al igual que en el E2, por un periodo de dos meses se entregó alimento iniciador al 5% de la biomasa, en total y se entregaron 44 kg. A partir de diciembre de 2019 y hasta principios de mayo de 2020 se entregaron 1147 kg de terminador a razón del 3% a 2% de la biomasa. En total se entregaron 1187 kg de alimento.

A continuación se muestra la trayectoria del estanque N°5 (Tabla 6) desde la siembra de alevines hasta la última biometría (Fig.7) realizada a mediados de septiembre de 2020. Se incluyen además los indicadores productivos: Ganancia diaria de peso vivo (GDPV) y conversión global del periodo.

Tabla 3: Trayectoria del estanque N°5, Especie Pacú, carga final objetivo 2.4 kg/m2

TRAYECTORIA DEL ESTANQUE N°5	
Especie: Pacú	
Carga Objetivo Final : 2,4 kg/m2	
Actividad	Fecha
Siembra	7/10/2019
N° de alevines	700
Peso X	0,02
Supervivencia 85%	595
Biomasa	12 kg
Comienzo Inicial	7/10/2019
Asignación	6%
Ración/día	0,8 kg
Fin Inicial	1/12/2019
Duración Etapa 1	55
Total kg alimento Etapa1	42 kg
Comienzo Etapa N°2 Terminador	1/12/2019
Peso X estimado etapa 1	0,060 kg
Biomasa Estimada etapa 1	36 kg
Asignación	3%
Ración/día	1,07 kg
Fin etapa N°2	6/2/2020
Duración de la Etapa N°2	67
Total kg alimento Etapa2	72 kg
Biometría	6/2/2020
Peso X biometría	0,625 kg
Comienzo Etapa N° 3 Terminador	6/2/2020
Biomasa Etapa N°3	372 kg
Asignación	3%
Ración/día	11 kg
Fin etapa N°3	15/5/2020
Duración Etapa 3	99,00
Total kg alimento Etapa 3	1068 kg
Biometría	15/9/2020
Peso X	1,12 kg
Biomasa	668 kg
Días totales	344
GDPV	3,2 gr
Conversión	1,77



Fig.7 Ejemplar de pacú, biometría septiembre 2020

Manejo del agua: se realizó de la misma manera que el E2, pero dado que los peces se sembraron en octubre de 2019, se requirieron dos renovaciones de agua del estanque, una en verano y la otra en invierno. En total se incorporaron 230 m³ de agua de pozo y se generaron 230 m³ de efluente.

RESULTADOS

Volumen de efluente generado

Los efluentes generados por los dos estanques en cuestión suman en total 575 m³, que corresponden a los manejos detallados en el capítulo anterior “trayectoria de los estanques”. A este valor se deben restar pérdidas por evaporación e infiltración y sumarle las precipitaciones ocurridas en los diferentes periodos estudiados para cada uno de los estanques. El valor resultante es de 897 m³. Conocer este valor resulta de gran importancia, pues a partir de este es posible realizar cálculos posteriores.

En la tabla 4 se detalla el balance del efluente en m³ por estanque de acuerdo al periodo evaluado para cada situación. Seguidamente se muestra en la (Fig. 8) un esquema que representa de forma gráfica lo ocurrido en cada estanque.

Tabla 4: Efluente generado. Elaboración propia en base a datos meteorológicos EEA INTA Concordia

Volumen de efluente generado por estanque			
Estanque N°2	m ³	Estanque N°5	m ³
Periodo jun 2019 - ago 2020		Periodo oct 2019 - ago 2020	
Volumen del Estanque	576	Volumen del Estanque	576
Renovación de agua	345	Renovación de agua	230
Infiltración 10% (estimado)	58	Infiltración 10% (estimado)	58
Evaporación	319	Evaporación	255
Precipitaciones	576	Precipitaciones	436
Volumen de Efluente Generado	544	Volumen de Efluente Generado	353

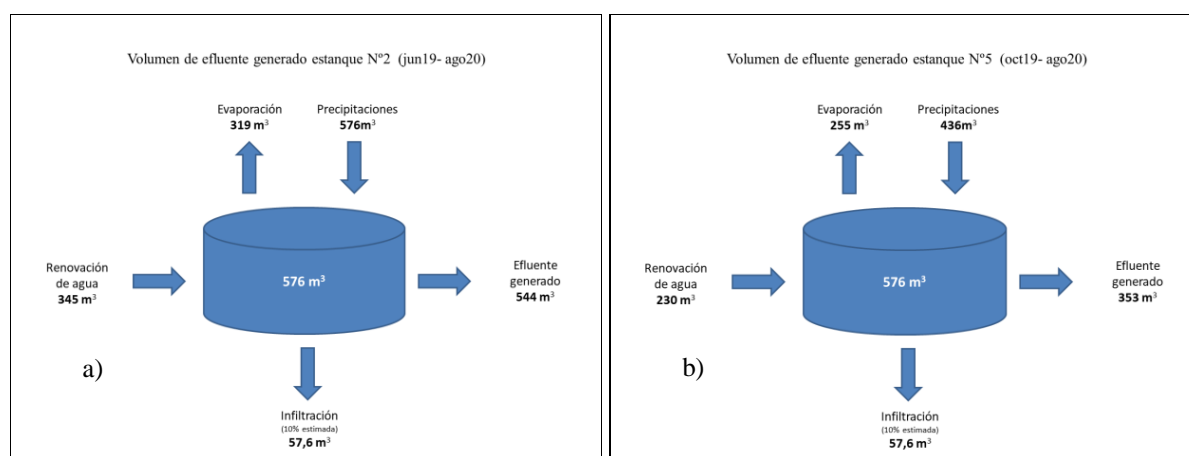


Fig.8: a) esquema estanque N°2, b) esquema estanque N°5

Calidad del agua de pozo

Los resultados que se presentan en la (Tabla 8) pertenecen al promedio obtenido de siete muestreos realizados entre 2018 y 2019 al agua subterránea de los dos pozos que se utilizaron para abastecer los estanques de producción. Se incorpora además una columna con los parámetros deseables para la producción de peces.

Tabla 5: Parámetros de calidad del agua de pozo y parámetros deseables para la producción de peces.

Elaboración propia en base a (1) FAO (1999) y (2) Alvarado (1998).

Parámetros	Pozo N°1	Pozo N°2	Parámetros Deseables
Temperatura del agua	19,65 °C	19,69 °C	18 a 30 °C 1(1)
Oxígeno Disuelto	5,5 mg/l	5,1 mg/l	4 a 10 mg/l (1)
PH	6,13 u pH	5,98 u pH	6,5 a 8,5 u pH (1)
Conductividad	161 µS/cm	110 µS/cm	200 a 500 uS/cm (1)
Nitrógeno Amoniacal	0,02 mg NH ₄ -N/l	0,02 mg NH ₄ -N/l	hasta 0,5 mg/l (1)
Nitrito	0,009 mg NO ₂ -N/l	0,008 mg NO ₂ -N/l	hasta 0,2 mg/l (1)
Nitrato	4,73 mg NO ₃ -N/l	1,85 mg NO ₃ -N/l	hasta 3 mg/l (1)
Coliformes Termotolerantes	15 ufc/100ml	37 ufc/100ml	1000 ufc/100ml (2)
Coliformes Totales	82 ufc/100ml	132 ufc/100ml	
Escherichia coli	15 ufc/100ml	44 ufc/100ml	
Transparencia			40 a 45 cm (1)
Anhídrido carbónico			5 a 10 mg/l (1)
Dureza	44 mg CaCO ₃ /l	39 mg CaCO ₃ /l	40 a 100 mg Ca CO ₃ (1)
Cloro			0,02 mg/l (1)

Calidad del medio de crianza

En las Tablas 9 y 10 se muestran parámetros de calidad del medio de crianza para los dos estanques estudiados en esta monografía.

En primer lugar se presentan los valores del estanque N°2 para las tres fechas de muestreos, se incorpora además una columna con los parámetros deseables para la producción de peces.

Tabla 6: Calidad del agua de crianza del estanque N°2 y parámetros deseables para la producción de peces. Elaboración propia en base a FAO (1999).

Parámetros	Estanque N° 2			Parámetros Deseables
	23 °C	30 °C	16 °C	
Temperatura del agua	23 °C	30 °C	16 °C	18 a 30 °C
Oxígeno Disuelto	7,76 mg/l	6,13 mg/l	8,16 mg/l	4 a 10 mg/l
PH	7,56 u pH	7,50 u pH	7,96 u pH	6,5 a 8,5 u pH
Conductividad	112 µS/cm	128 µS/cm	100 µS/cm	200 a 500 uS/cm
Nitrógeno Amoniacal	0,26 mg NH ₄ -N/l	0,12 mg NH ₄ -N/l		hasta 0,5 mg/l
Nitrito	0,057 mg NO ₂ -N/l	0,092 mg NO ₂ -N/l		hasta 0,2 mg/l
Nitrato	0,40 mg NO ₃ -N/l	0,80 mg NO ₃ -N/l		hasta 3 mg/l
Fecha de muestreo	10/10/2019	29/1/2020	1/6/2020	
Transparencia				40 a 45 cm
Anhídrido carbónico				5 a 10 mg/l
Dureza				40 a 100 mg Ca CO ₃
Cloro				0,02 mg/l

En la tabla XX se presentan los valores de los muestreos del estanque N° 5 para igual periodo que los realizados en el estanque N°2

En segundo lugar se presentan los valores del estanque N°5 para las tres fechas de muestreos, se incorpora además una columna con los parámetros deseables para la producción de peces.

Tabla 7: Calidad del agua de crianza del estanque N°2 y parámetros deseables para la producción de peces. Elaboración propia en base a FAO (1999)

Parámetros	Estanque N° 5			Parámetros Deseables
	23 °C	30 °C	15 °C	
Temperatura del agua	23 °C	30 °C	15 °C	18 a 30 °C
Oxígeno Disuelto	7,28 mg/l	7,20 mg/l	9,80 mg/l	4 a 10 mg/l
PH	7,60 u pH	7,23 u pH	7,80 u pH	6,5 a 8,5 u pH
Conductividad	121 µS/cm	150 µS/cm	90 µS/cm	200 a 500 uS/cm
Nitrógeno Amoniacal	0,02 mg NH4-N/l	0,09 mg NH4-N/l		hasta 0,5 mg/l
Nitrito	0,016 mg NO2-N/l	0,042 mg NO2-N/l		hasta 0,2 mg/l
Nitrato	0,20 mg NO3-N/l <LQ	0,50 mg NO3-N/l		hasta 3 mg/l
Fecha de muestreo	10/10/2019	29/1/2020	1/6/2020	
Transparencia				40 a 45 cm
Anhídrido carbónico				5 a 10 mg/l
Dureza				40 a 100 mg Ca CO3
Cloro				0,02 mg/l

Calidad del efluente

Los resultados que se presentan en la siguiente tabla pertenecen a tres muestreos realizados en diferentes fechas a los efluentes correspondientes a los dos estanques seleccionados para esta monografía. Se incorporan además, cuatro columnas donde se presentan parámetros límites establecidos por dos normativas entrerrianas³, la resolución N° 28/19 de CARU⁴ y el decreto N° 253/79 de la ROU.

Tabla 8: Calidad de efluentes y límites establecidos por normativas

Parámetros	Estanque N°5	Estanque N°2	Estanque N°5	Estanque N°2	Estanque N°5	Resolución Prov. N° 554 (ER 2015)	Decreto 2235 SEOYSP (ER 2002)	Resolución CARU N° 28/19 Conservación y desarrollo de la vida acuática	Decreto 253/79 ROU
Temperatura del agua	16 °C	18 °C	18 °C	11 °C	11 °C	< 45 °C	< 45 °C	Condiciones naturales	
Oxígeno Disuelto	6,8 mg/l	4,2 mg/l	4,1 mg/l	3,7 mg/l	6,6 mg/l			> 5 a 15 mg/l	> 5 mg/l
pH	6,35 u pH	6,63 u pH	6,39 u pH	6,80 u pH	6,30 u pH	6,5 a 8,5 u pH	5 a 10 u pH	6,5 a 9,0 u pH	6,5 a 8,5 u pH
Conductividad	95 µS/cm	110 µS/cm	99 µS/cm	99 µS/cm	102 µS/cm	< 2000 µS/cm		40 a 100 uS/cm ²	
Nitrógeno Amoniacal	0,11 mg NH4-N/l	0,03 mg NH4-N/l	0,05 mg NH4-N/l	0,03 mg NH4-N/l	0,02 mg NH4-N/l <LQ	< 75,00 mg NH4-N/l			
Nitrato	0,041 mg NO2-N/l	0,017 mg NO2-N/l	0,014 mg NO2-N/l	0,026 mg NO2-N/l	0,023 mg NO2-N/l			< 0,06 mg NO2-N/l	
Nitrato	1,00 mg NO3-N/l	0,80 mg NO3-N/l	0,60 mg NO3-N/l	1,00 mg NO3-N/l	0,90 mg NO3-N/l	< 5 mg NO3-N/l		< 10 mg NO3-N/l	< 10 mg NO3-N/l
Nitrógeno Total	1,6 mg N/l	1,1 mg N/l	0,8 mg N/l	1,1 mg N/l	0,9 mg N/l	< 105,0 mg N/l			
Fósforo Ortofosfato	0,11 mg PO4-P/ml	0,05 mg PO4-P/ml	0,09 mg PO4-P/ml	0,02 mg PO4-P/ml	0,05 mg PO4-P/ml			< 0,04 mg PO4-P/ml	
Fósforo total	0,310 mg P/l	0,190 mg P/l	0,170 mg P/l	0,090 mg P/l	0,100 mg P/l	< 30 mg P/l		< 0,1 mg P/l	0,025 mg P/l
DBO5	3 mg/LQ	3 mg/LQ	3 mg/LQ			< 150 mg/l	< 250 mg/l (RP) < 150 mg/l (RU)	< 3 mg/l	
Sólidos Suspendedos Totales (105°C)	10,0 mg/l	27,3 mg/l	14,0 mg/l			< 150 mg/l		< 30 mg/l	
Sólidos Suspendedos 550°C	5,0 mg/l	19,3 mg/l	7,3 mg/l						
Turbidez	18,0 NTU	49,1 NTU	28,1 NTU	36,5 NTU	19,9 NTU			< 65 NTU	
Clorofila	7 µg/l	7 µg/l	7 µg/l	10 µg/l	15 µg/l			< 10 µg/l	
Coliformes Termotolerantes	14 ufc/100ml	10 ufc/100ml	10 ufc/100ml						
Coliformes Totales	5000 ufc/100ml	1265 ufc/100ml	1185 ufc/100ml	5542 ufc/100ml	7009 ufc/100ml	< 10000 ufc/100ml		< 5000 ufc/100 ml	
Escherichia coli	10 ufc/100ml	10 ufc/100ml	10 ufc/100ml	30 ufc/100ml	10 ufc/100ml			< 575 ufc/100 ml	
Fecha de muestreo	11/6/2020	24/6/2020	24/6/2020	16/7/2020	16/7/2020				

³ La Secretaria de Estado de Obras y Servicios Públicos a través del decreto 2235 año 2002, establece pautas de calidad en cuanto a los valores guía de parámetros físico-químicos y bacteriológicos admisibles para el agua potable de consumo humano y los valores máximos de los efluentes que se vuelcan a los ríos y arroyos de la provincia.

La resolución provincial N°554 de fecha 13 de noviembre de 2015, establece los límites de emisión para riego forestal provenientes de actividades productivas, industrial o de servicios.

⁴ LIBRO CUARTO CALIDAD DE AGUAS Y PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN. ANEXO 1a Valores guías para la consideración de objetivos y estándares de calidad para el Digesto.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Al evaluar el proceso productivo del caso de estudio se puede afirmar que la ganancia diaria de peso vivo y la conversión para las dos especies evaluadas presentaron valores aceptables.

Al comparar los datos obtenidos para el agua de los dos pozos que abastecen a la EASG se puede indicar que solo el pH, la conductividad y el nitrato del pozo 1 se encuentran levemente fuera de los rangos deseables para la producción piscícola. Esta situación, pareciera no afectar los indicadores de productividad de los peces.

Si se comparan ambos pozos de agua se puede indicar que la mayoría de los parámetros muestran valores similares, a excepción de los nitratos donde el pozo 1 presenta valores muy superiores al pozo 2 y los indicadores microbiológicos donde se da una situación inversa. En relación a los coliformes termo resistente se puede indicar que, si bien están presentes en ambas muestras, los valores hallados se encuentran muy por debajo del límite tolerable.

La calidad adecuada de la fuente de agua es clave para el éxito de la producción piscícola, las diferencias halladas entre los dos pozos de EASG que se encuentran ubicados a escasos metros uno de otro indican la importancia de realizar análisis antes de iniciar con un emprendimiento piscícola y en sucesivas instancias para monitorear posibles variaciones.

Al analizar los datos hallados para el medio de crianza en ambos estanques se puede indicar que la mayoría se encontraban dentro de los límites deseables a excepción de la temperatura en el muestreo invernal y la conductividad. Además no se observaron diferencias entre los dos estanques.

Una vez finalizado el periodo de estudio se generaron 897 m³. Si se considera que para el llenado de los dos estanques evaluados se utilizaron un total de 1152 m³ de agua de pozo, se puede indicar que el 78% de agua introducida en los estanques se convierte en efluente, lo que representa una proporción elevada. Vale aclarar que en el presente estudio no se consideró el drenaje total que se realiza durante la cosecha. Para futuros estudios es fundamental incluir el drenaje de cosecha, de manera de poder cuantificar el total de los efluentes generados.

Si se considera la jerarquía ambiental, lo prioritario es reducir el volumen de efluentes, por este motivo sería oportuno proponer manejos que disminuyan al máximo el recambio de agua y eviten el drenaje total a cosecha, también sería conveniente evaluar la introducción de plantas acuáticas que absorban nutrientes y la utilización de policultivos que incluyan especies detritívoras que reduzcan el componente orgánico del agua, es decir, lograr sistemas productivos que se asemejen a los ecosistemas naturales.

A continuación se presenta una descripción de cada uno de los principales parámetros cotejados con las normativas para los dos estanques evaluados:

La temperatura registrada en los efluentes para las diferentes fechas donde se realizaron los muestreos, se encuentran muy por debajo del límite establecido por las cuatro normativas, por

consiguiente, este parámetro no representa un problema para ser vertido al medio. No se encontraron diferencias entre los estanques.

Al analizar el parámetro oxígeno disuelto, para cotejar los datos, se utilizan los parámetros establecidos por CARU⁵ y ROU ya que las otras normativas no lo contemplan. Los valores medidos en la mitad de las muestras se encuentran dentro del límite establecido por CARU y ROU, mientras que la otra mitad de las muestras no cumplen con lo establecido por los organismos.

En relación a las diferencias entre los dos estanques estudiados se puede decir que el E2 presenta dos valores por debajo y uno por encima del límite, mientras que en el E5 presenta la situación inversa donde uno de los valores es inadecuado y dos valores adecuados a lo establecido por CARU y ROU. No se observan diferencias entre las fechas de muestreo.

Al analizar los valores obtenidos para pH, se observa que en el E2 todas las muestras se encuentran dentro de lo establecido por las cuatro normativas, mientras que todos los valores para el E5 se encuentran levemente por debajo de lo establecido en la ER2015, CARU y ROU. Esta diferencia podría indicar que la intensificación productiva afecta negativamente el parámetro pH en los efluentes generados. No se observan diferencias entre las fechas de muestreo.

Las dos normativas que presentan límites para el parámetro conductividad son las ER2015 y CARU. No se observan grandes diferencias entre los dos estanques analizados, si bien dos valores del E2 y uno del E5 se encuentran levemente por encima de lo establecido por CARU. No se observan diferencias entre las fechas de muestreo.

Todos los valores obtenidos para compuestos nitrogenados se encuentran dentro de los límites admisibles establecidos por las cuatro normativas. No se observan grandes diferencias entre los dos estanques analizados ni entre fechas de muestreo.

La única normativa que considera al parámetro ortofosfato es la CARU. En el E5 los tres muestreos arrojan valores por encima del límite, mientras el E2 un solo muestreo se encuentra por encima. Esta diferencia podría indicar que la intensificación productiva afecta negativamente el parámetro ortofosfato en los efluentes generados. No se observan diferencias entre las fechas de muestreo.

Los valores hallados para fósforo total se encuentran muy por debajo de lo establecido por ER2015, pero para los límites establecidos por CARU los valores hallados se encuentran muy por encima (2 a 3 veces más) y considerablemente superior a lo establecido por ROU (10 veces

⁵ Si bien existen valores estándares para efluente en el digesto de CARU se consideran los niveles guía para conservación de la vida acuática por ser más restrictivos.

más). No se observan grandes diferencias entre los dos estanques analizados. Los valores más bajos se obtuvieron en el último muestreo (16/07/2020).

En relación al parámetro DBO5 los resultados obtenidos muestran valores que se encuentran muy por debajo de las dos normativas entrerrianas y adecuados a la normativa de la CARU. El total de las muestras presenta un valor de $3 \text{ mg/l} < \text{LQ}$, esto indica que el resultado obtenido se encuentra por debajo del límite cuantificable (LQ) obtenido con la técnica de laboratorio utilizada. Este parámetro no representaría un problema para el vertido a medios receptores. No se observan diferencias entre los dos estanques evaluados, ni entre fechas de muestreo.

Al observar los valores obtenidos para sólidos suspendidos totales se puede indicar que el total de las muestras se encuentran muy por debajo de los límites establecidos por las normativas de ER2015 y CARU. Este parámetro no representaría un problema para el vertido a medios receptores. Los datos obtenidos para el E2 presentan valores dos veces superiores en promedios que el E5, lo que podría indicar que las bogas generan mayor remoción del sustrato. No se observan diferencias entre las diferentes fechas de muestreo.

Los valores obtenidos en los muestreos para turbidez se encuentran por debajo de lo establecido por CARU, siendo esta la única norma que lo considera. Al igual que en los sólidos en suspensión, se observa la que turbidez en E2 es dos veces mayor que en el E5. No se observan diferencias entre las diferentes fechas de muestreo.

La única normativa que lo considera al parámetro clorofila es la CARU. Los muestreos indican que solo un valor (E5-16/7) se encuentra fuera de los límites establecidos y el valor hallado para (E2-16/7) coincide con el límite de la norma. Al analizar los datos obtenidos para los dos estanques no se observan grandes diferencias, pero si aparecen diferencias entre las distintas fechas de muestreos.

Ninguna de las cuatro normativas se refiere a coliformes termotolerantes. En los muestreos realizados se detectó presencia probablemente debida a la acción antrópica, de aves u otros animales de sangre caliente.

En cuanto a Coliformes totales solamente la normativa ER2015 y la de la CARU establecen límites admisibles. Para la normativa ER 2015 todos los parámetros obtenidos en el muestreo son adecuados, mientras que si se considera la normativa de CARU, dos valores se encuentran por encima de los límites admisibles. No se observan diferencias entre los dos estanques evaluados.

La única normativa que considera al parámetro *escherichia coli* es la de CARU. Todos los valores obtenidos en los muestreos se encuentran muy por debajo de los límites establecidos. No se observan diferencias entre los dos estanques evaluados.

Con el propósito de resumir lo expresado en los párrafos anteriores al considerar los límites más restrictivos contemplados por las cuatro normativas se conformaron tres grupos de parámetros:

En el primer grupo, se indica que los valores obtenidos para los parámetros temperatura, compuestos nitrogenados, DBO, sólidos suspendidos totales, turbidez y *Escherichia coli* se encuentran dentro de los límites admisibles para las normativas consideradas y no representarían un problema para su vuelco a medios receptores.

Para el segundo grupo de parámetros, se observa que una parte de los valores obtenidos para oxígeno disuelto, pH, conductividad, clorofila y coliformes totales se encuentran fuera de los límites admisibles en al menos una de las normativas consideradas, por lo que sería recomendable prestar especial atención a la dinámica de estos parámetros en los efluentes piscícolas.

En el tercer grupo, se releva que todos los valores obtenidos para fósforo total y todos los valores a excepción de una muestra para ortofosfato, se encuentran fuera de los límites admisibles en al menos una normativa. Se considera necesario observar atentamente estos parámetros, ya que, como se indicó en el apartado de abordaje conceptual, el fósforo es el elemento que presenta mayor dificultad para ser retirado del sistema y es el nutriente crítico para efectos de eutrofización.

Con el propósito de contar con una guía visual rápida de los datos obtenidos para los diferentes parámetros de los efluentes se propone la siguiente tabla:

Tabla 9: indicador visual de parámetros evaluados en los efluentes de la EASG.

PARÁMETRO	SITUACIÓN
Temperatura del agua	
Oxígeno Disuelto	
pH	
Conductividad	
Compuestos nitrogenados	
Fósforo Ortofosfato	
Fósforo total	
DBO5	
Sólidos Suspendidos Totales	
Turbidez	
Clorofila	
Coliformes Totales	
<i>Escherichia coli</i>	

En el siguiente segmento se contrastan valores para efluentes reseñados por Boyd (2000) para catorce trabajos de investigación sobre efluentes en acuicultura con los hallados en la EASG: las muestras obtenidas para nitratos se encuentran por encima de los valores promedios, para fósforo total, se observa que solo una de las muestras de la EASG se encuentra por encima de los promedios. Otro de los parámetros donde se encontraron tres muestras por debajo del promedio, es el oxígeno disuelto. Los valores hallados para los parámetros nitrógeno total,

nitrito, nitrógeno amoniacal, pH, DBO₅, SST y la clorofila se encontraban por debajo de los valores promedios.

Por otra parte, si se contrastan los valores deseables indicados por la Global Aquaculture Alliance (2003) para efluentes acuícolas con los datos obtenidos para la EASG se puede indicar que solo uno de los valores para fósforo total y tres de los valores para oxígeno disuelto se encuentra fuera de los límites deseables.

Para finalizar el apartado de discusión y conclusión se puede indicar que al analizar los dos estanques de producción se puede observar que en el E5 (carga límite-pacú) se obtuvieron valores diferentes al E2 (carga normal-boga) para los parámetros pH y ortofosfato. Esta variación podría ser atribuida a la intensificación productiva. La eficiencia productiva en general está asociada a la intensificación, esta a su vez está relacionada a la generación de efluentes más contaminantes, por lo que sería recomendable incorporar el estudio de impacto ambiental como indica la Ley 27231 *Desarrollo Sustentable del Sector Acuícola* (2015) y el costo de tratamientos de efluentes de sistemas más intensivos al análisis económico de los proyectos piscícola.

Cada sistema, tiene una capacidad máxima para asimilar residuos orgánicos y nutrientes generados a partir de la producción, o sea que tiene un límite de carga. Si se trabaja por encima de la capacidad de carga, los emprendimientos corren grandes riesgos de mortalidad de peces debido a problemas de calidad de agua y por enfermedades. (Kubitza, 2010)

La intensificación en general se piensa desde la búsqueda de la máxima renta basada en economías de escala pensada para modelos industriales empresariales. Desarrollar modelos sustentables de escala familiar se transforma en un desafío para la tarea de extensión rural acuícola.

Como cierre, podría indicarse que la información generada podría servir como antecedente para crear una legislación específica de gestión de efluentes para la acuicultura de Argentina y Uruguay que contribuya al desarrollo sustentable de esta actividad.

CONSIDERACIONES FINALES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

La FAO en el documento “Los 10 elementos de la Agroecología” (2018), expresa que el desperdicio es un concepto humano que en los ecosistemas naturales no existe, e indica además, que las prácticas agroecológicas, al imitar los ecosistemas naturales, favorecen los procesos biológicos que impulsan el reciclaje de los nutrientes, con lo que se aumenta la eficiencia en el uso de los recursos y se reduce al mínimo el desperdicio y la contaminación.

Si se toma en cuenta lo expresado en el párrafo anterior, podría indicarse la necesidad de modificar la mirada de los efluentes como desechos para comenzar a visualizarlos como nutrientes que pueden reciclarse e integrarse con otras actividades productivas locales como la forestación, la horticultura, la citricultura, además de considerar su reutilización en piscicultura luego de un tratamiento que podría incluir una separación de fases y un tiempo de retención hidráulica.

Si bien la información generada en el desarrollo de esta monografía resulta de interés, se considera necesario profundizar en estudios futuros las características de los efluentes piscícolas incluyendo diferentes manejos productivos, especies de peces y la dinámica de los parámetros evaluados durante todo el ciclo de producción especialmente en verano y fundamentalmente a cosecha, además de evaluar con mayor detalle sus usos potenciales e incorporar el estudio de los sedimentos en los estanques.

Durante el primer ciclo de producción en los dos estanques estudiados se generó una importante presencia de lenteja de agua (*Lemna sp*). Mientras que en el segundo ciclo de producción apareció el helecho de agua (*Azolla sp*) y desplazó a la lenteja como especie predominante en los estanques. La proliferación exponencial de estas plantas acuáticas representa un problema para la piscicultura en estanques, pues impiden la normal penetración de la radiación solar y en consecuencia el desarrollo de plancton clave como fuente de alimentación natural. Por otra parte existen diversos estudios Hernández (2015) y Mendez-Martinez et al (2017) que ponen en valor a estas especies por sus potenciales usos como: biorremediadores de aguas residuales, fertilizantes y suplementos para alimentación animal y humana. En relación a la presencia de las plantas acuáticas lenteja de agua (*Lemna sp*) y helecho de agua (*Azolla sp*) se puede inferir que la aparición de las mismas, favorecen la reducción en los valores de los parámetros evaluados para los efluentes de la EASG, principalmente materia orgánica, productos nitrogenados y el fósforo total. Resulta necesario profundizar en la medición de la producción y el manejo para ambas plantas.

Además de los análisis de laboratorio se realizaron para elaborar la monografía, se hicieron análisis de campo con una mochila de campo provista con un equipo portátil que mide instantáneamente temperatura, pH y conductividad y un Test Kits químicos para los parámetros fosfato, nitrato y oxígeno disuelto. Los resultados obtenidos fueron muy similares a los del laboratorio, por lo que para trabajos de campo que requieran resultados rápidos, la mochila podría ser una muy buena herramienta.

Si se piensa en lograr una mayor eficiencia en el aprovechamiento el alimento y por consiguiente una reducción en la carga contaminante de los efluentes, se puede considerar la entrega de la ración distribuida en tres o cuatro momentos del día, sobre todo cuando los peces son más pequeños. Es clave que no queden restos de alimento en superficie pasados 5 minutos del suministro. Evitar la sobre oferta de alimento a partir de biometrías periódicas que permitan ajustar la asignación diaria de manera adecuada. Complementar los cálculos de asignación con la observación del comportamiento de los peces al momento de la entrega de alimento. En la práctica se usa un índice de voracidad que sirve para ajustar diariamente la asignación de alimento. Para calcularlo se mide el tiempo que tardan los peces en comer todo el alimento asignado. En 5 minutos los peces deberían comer la mayor parte del alimento. El momento de la alimentación es clave para detectar situaciones anormales.

La formulación de alimentos con ingredientes de alta digestibilidad es indicada por la bibliografía como otras de las claves para reducir la carga contaminante del efluente.

Sería interesante realizar una evaluación que permita cuantificar el valor económico de los efluentes generados por los peces. En palabras de un piscicultor local: “Si produzco peces tengo que vender carne de pescado, aletas de pescado, escamas de pescado y heces de pescado”.

Se cuenta con información de tipo y calidad de suelo de la EASG y composición nutricional del alimento balanceado utilizado en la experiencia.

Por más información: fuser.carlos@inta.gob.ar

BIBLIOGRAFÍA

- Acuicultura, D. (1997). “*Dinamica de los estanques en acuicultura*” Recuperado en septiembre 2020:
http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/05-acuicultura_sagpya.pdf.
- Alliance, G. A. (2003). “*Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level*”. Recuperado en agosto 2020:
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.458.4505&rep=rep1&type=pdf>
- Alvarado, D. (1998) “*Actualización de los criterios microbiológicos para evaluar la calidad del agua en sus diferentes usos*” Recuperado en septiembre 2020:
https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14291998000200003
- Boards, W. (2015). “*Folleto Informativo Amoniaco*” Recuperado el 2020:
https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp//docs/cwt/guidance/3310sp.pdf
- Boyd. (2000). “*Effluent Composition & Water Quality Standards*”. Recuperado en noviembre 2019:
https://www.researchgate.net/publication/285843894_Effluent_composition_and_water_quality_standards
- CARU (2019).” *Digesto Sobre El Uso Y Aprovechamiento Del Río Uruguay*” Recuperado en agosto 2020:
http://www.caru.org.uy/web/pdfs_publicaciones/DIGESTO/DIGESTO%20SOBRE%20EL%20USO%20Y%20APROVECHAMIENTO%20DEL%20RIO%20URUGUAY%20APROBADO%20POR%20RESOLUCION%20CARU%20NRO%2028-19%20DE%205-12-2019.pdf
- Cyrino et al., (2010) Recuperado en Enero 2020:
https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982010001300009
- Della Rosa, (2014).” *Productividad del sábalo (Prochilodus lineatus) cultivado en estanques con diferentes tipos de fondo*” Recuperado en Marzo 2018:
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-68402014000200009
- Dormon, (2008). “*Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediación*” Recuperado en agosto 2020:
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/7775/1/Kathya%20Iturbide%20Dormon.pdf>
- EFE. (2020). *Agencia EFE*. Recuperado en septiembre 2020:
<https://www.efe.com/efe/america/economia/se-derrumba-el-consumo-de-carne-en-argentina-al-nivel-mas-bajo-la-decada/20000011-4149247>
- FAO. (1999). “*Métodos sencillos para la acuicultura y el Manual de piscicultura*”

- Recuperado en septiembre 2020:
http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/Index.htm
- FAO. (2018). “*Los 10 elementos de la Agroecología*” Recuperado en septiembre 2020:
<http://www.fao.org/3/i9037es/I9037ES.pdf>
- FAO. (2020). “*El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020*”. Roma: Vera Agostini, Marcio Castro de Souza, Nicole Franz, Kim Friedman, Graham Mair, Julian Plummer, Marc Taconet, Raymon Van Anroy y Kiran Viparthy.
 Recuperado en Agosto 2020:
<http://www.fao.org/3/ca9229es/ca9229es.pdf>
- Figuerola, C. (2011) “*Evaluación Del Comportamiento De Un Sistema De Lagunas De Azolla*” Recuperado enl marzo 2018:
<http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/7662/1/7720-0445523.pdf>
- González, Hernández, Del Pino. (2016). “*Extracción y reciclaje de elementos nutritivos por cosecha de Eucalyptus globulus en Uruguay*”. Recuperado en octubre 2020:
https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002016000100017
- Guayubira, G. (1997).” *www.guayubira.org.uy*” Recuperado en octubre 2020:
<http://www.guayubira.org.uy/2008/11/consumo-de-agua-por-forestacion-agrava-sequia/#:~:text=Se%20estima%20que%20un%20eucalipto,por%20hect%C3%A1rea%20y%20por%20d%C3%ADa.>
- Chaux et al., (2013). “*Tratamiento de efluentes piscícolas (tilapia roja) en lagunas con Azolla Pinnata*” Recuperado en agosto 2019:
<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n2/v11n2a06.pdf>
- Hernández. (2015). “*Producción de biomasa de lemnáceas en estanques de acuicultura*”. Recuperado en marzo 2019:
<http://www.bioeconomia.mincyt.gob.ar/wp-content/uploads/2014/12/4.-Producci%C3%B3n-de-biomasa-de-lemn%C3%A1ceas-en-estanques-de-acuicultura-David-Hern%C3%A1ndez.pdf>
- Huidobro (2008). “*Perspectivas en acuicultura: nivel mundial, regional y local*”. Recuperado en Marzo 2018:
[http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos/000000_Informaci%C3%B3n%20y%20noticias%20vinculadas%20al%20sector/081110_Perspectivas%20en%20acuicultura%20\(nivel%20mundial,%20regional%20y%20local\).pdf](http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos/000000_Informaci%C3%B3n%20y%20noticias%20vinculadas%20al%20sector/081110_Perspectivas%20en%20acuicultura%20(nivel%20mundial,%20regional%20y%20local).pdf)
- Huidobro (2016) “*Producción Acuicultura en Argentina*” Recuperado en marzo 2018:
[http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos/000000_Informaci%C3%B3n%20y%20noticias%20vinculadas%20al%20sector/081110_Perspectivas%20en%20acuicultura%20\(nivel%20mundial,%20regional%20y%20local\).pdf](http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos/000000_Informaci%C3%B3n%20y%20noticias%20vinculadas%20al%20sector/081110_Perspectivas%20en%20acuicultura%20(nivel%20mundial,%20regional%20y%20local).pdf)

- 20sector/170605_Producci%C3%B3n%20por%20Acuicultura%20en%20Argentina%20durante%20el%20a%C3%B1o%202016.pdf
- Imbacuan (2011). “*Efluente Piscícolas: Características Contaminantes, Impactos y Perspectivas de Tratamiento*” Recuperado en marzo de 2018:
<https://jci.uniautonoma.edu.co/2011/2011-2.pdf>
- INTA (2014) Dante, Schulz y Pausich. “*Geo INTA*”. Recuperado en octubre 2020:
<http://www.geointa.inta.gob.ar/2014/04/22/cartas-de-suelos-de-entre-rios/>
- INTA, (2018) Sergio Ramos, Roberto De Ruyver, Natalia Gattinoni, Rubén Garin, Sergio Garran . “*Estación Agrometeorológica del INTA Concordia*” .
 Recuperado Nviembre 2020:
https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_concordia_50_anos_estacion_agrometeorologica_eea_concordia_inta.pdf
- Kubitza, (2010) “*los caminos para una acuicultura sustentable*” Recuperado en Marzo 2018:
http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos//000000_Informaci%C3%B3n%20y%20noticias%20vinculadas%20al%20sector/120807_Los%20caminos%20para%20una%20Acuicultura%20sustentable.pdf
- Leites, V. (21 de Septiembre de 2020). (F. Caros, Entrevistador)
- Ley 27231 (2015) *Desarrollo Sustentable del Sector Acuícola*. Recuperado el 2020, de El Senado y Cámara de Diputados de la Nación Argentina:
<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/255000-259999/257444/norma.htm>
- MAGyP. (2010). “*Resumen del codigo de buenas practicas en acuicultura*”:
 Recuperado en Marzo de 2018:
http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/normativa/_archivos//080414_Resumen%20del%20codigo%20de%20buenas%20practicas%20en%20Acuicultura.pdp
- MAGyP. (2010). “*La Acuicultura en el Nordeste Argentino*”. Recuperado en Marzo de 2018:
http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos//000000_Informaci%C3%B3n%20y%20noticias%20vinculadas%20al%20sector/110727_La%20Acuicultura%20en%20el%20Nordeste%20Argentino%20NEA.pdf
- MAGyP. (2013). Boletín Marzo “*La Acuicultura en la Argentina*”. Recuperado en Marzo de 2018:
http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos//000000_Informaci%C3%B3n%20y%20noticias%20vinculadas%20al%20sector/141223_TRATAMIENTO%20DE%20EFLUENTES%20DE%20LA%20ACUICULTURA.pdf

- MAGyP. (2018). “Agroindustria promueve el consumo de pescado”
Recuperado en Septiembre 2020:
<https://www.argentina.gob.ar/noticias/agroindustria-promueve-el-consumo-de-pescado>
- MAGyP. (2019). “*Producción De Acuicultura Destinada Al Consumo Humano*”
Recuperado en octubre 2020:
https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/estadisticas/_archivos//000000_Producci%C3%B3n/190000_Producci%C3%B3n%20de%20Acuicultura%20destinada%20al%20consumo%20en%20Argentina%20-%202019.pdf
- Méndez-Martínez; Torres-Navarrete; Pérez-Tamames; ReyesPérez; Ramírez de la Ribera; Batista Casaco; AriasContrera. (2017). “*Efecto de la fertilización en el rendimiento de Azolla filiculoides, un alimento para piscicultura*” .
Recuperado en agosto 2020:
<https://www.redalyc.org/pdf/636/63654640019.pdf>
- Merino y Sal. (2007). *Sistemas de recirculación y tratamiento de agua*. Recuperado en Diciembre 2019: <http://www.refacua.gob.ar/documentos/000003-Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20y%20tratamiento%20de%20agua.pdf>
- Pardo et al.,(2006). “*Tratamiento de Efluentes: Una vía para la Acuicultura Responsable*”. Recuperado el 2020:
<https://www.redalyc.org/pdf/693/69309903.pdf>
- ROU (1979).” *Prevención de la contaminación ambiental mediante el control de las aguas*”. Recuperado en agosto 2019:
https://www.dinama.gub.uy/rlau/index.php?option=com_docman&view=download&alias=32-decreto-25379&category_slug=nacional&Itemid=124
- Silveira Guerra Moura; Losekann; Hisano. (2013). “*Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes*”
Recuperado en septiembre 2020:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/972692/1/Doc95.pdf>