

MANEJO DE CALIDAD DE AGUA EN LA INDUSTRIA DE LA ACUICULTURA EN EL
DEPARTAMENTO DEL META



MARKVANDER EYCK LÓPEZ TORRES



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2023

MANEJO DE CALIDAD DE AGUA EN LA INDUSTRIA DE LA ACUICULTURA EN EL
DEPARTAMENTO DEL META

MARKVANDER EYCK LÓPEZ TORRES

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor

Mg. IVÁN DARIO ACOSTA SABOGAL

Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Especialista en Recursos Hídricos

Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

VILLAVICENCIO

2023

Autoridades Académicas

Fray Álvaro José Arango Restrepo, O. P.

Rector General

Fray, Mauricio Antonio CORTÉS GALLEGO, O. P.

Vicerrector Académico General

Padre José Antonio Balaguera Cepeda, O. P.

Rector Sede Villavicencio

Fray Rodrigo García Jara, O. P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. Julieth Andrea Sierra Tobón

Secretaria de División Sede Villavicencio

Mg. Luis Fernando Díaz Cruz

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil

Contenido

Resumen	9
Glosario	10
Introducción	11
Formulación Del Problema	12
Objetivos	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos	14
Justificación	15
Marcos De Referencia	16
Marco Teórico	16
Contaminación Del Suelo	16
Enfermedades Al Ser Humano Por Pescado En Malas Condiciones	17
Generación De Contaminantes Del Agua En La Acuicultura	19
Manejo General De Agua Contaminada En La Acuicultura	21
Estado Del Arte	22
Principales Empresas Acuícolas en Colombia	22
Principales Empresas Acuícolas Internacionales	24
Sistemas de cultivo	26
Tecnologías para el manejo de la contaminación del agua	27
Parámetros de contaminación del agua	29
Indicadores generales del agua para la acuicultura	32
Marco Normativo	33
Proceso Productivo de la Acuicultura en Colombia	36
Diferencias De La Acuicultura Entre Colombia Y El Resto Del Mundo	38

Metodología	40
Desarrollo	41
Estación Piscícola La Terraza	41
Contaminantes Producidos.....	41
Gestión De Contaminantes	41
Parámetros Fisicoquímicos	41
Análisis Del Cultivo Y Recomendaciones	42
Finca La Esperanza Y Finca El Arenal	42
Contaminantes Producidos.....	43
Gestión De Contaminantes	43
Parámetros Fisicoquímicos	43
Análisis Del Cultivo Y Recomendaciones	44
Cultivos En El Municipio De Castilla La Nueva	45
Contaminantes Producidos.....	45
Gestión De Contaminantes	45
Parámetros Fisicoquímicos	45
Análisis Del Cultivo Y Recomendaciones	45
Cultivo De Peces Ornamentales En La Cooperativa COOPESCA Acacias, Meta	46
Contaminantes Producidos.....	46
Gestión De Contaminantes	46
Parámetros Fisicoquímicos	46
Análisis Del Cultivo Y Recomendaciones	47
Sistemas De Producción Familiares Rurales En Acacias Meta	47
Contaminantes Producidos.....	47
Gestión De Contaminantes	47
Parámetros Fisicoquímicos	47

Análisis Del Cultivo Y Recomendaciones	48
Cultivo De Cachama Blanca En Jaulas Flotantes En Puerto Gaitán, Meta	48
Contaminantes Producidos.....	48
Gestión De Contaminantes	48
Parámetros Fisicoquímicos	48
Análisis Del Cultivo Y Recomendaciones	48
Sistema de Manejo de Agua Recomendado	49
Resultados E Impacto	50
Conclusiones.....	51
En Cultivos Que Se Realicen En Cuerpos De Agua Naturales Sin Captación	51
En Cultivos Que Realicen Captación De Agua	51
Referencias	53

Lista de figuras

Figura 1. Proceso de eutrofización, tomado de (Agudelo & García, 2021)	20
Figura 2. Línea de tratamiento de sistema hidropónico por (Gutiérrez, 2012)	26
Figura 3. Tanque con sistema individual de tratamiento por (Kubitza, 2006)	27

Lista De Tablas

Tabla 1. Parámetros de calidad de agua, tomado de www.aguaverdeacuicultura.com	23
Tabla 2. Requerimiento de OD de distintas especies de peces, tomado de (FAO, 2017)	30
Tabla 3. Indicadores de parámetros fisicoquímicos por (Kubitza, 2006)	32
Tabla 4. Metodología. Elaboración propia.....	40
Tabla 5. Parámetros fisicoquímicos del Caño Colorado, tomado de (Gil, 2017)	43
Tabla 6. Calidad de agua para cultivo de tilapia roja, tomado de (Gil, 2017)	43
Tabla 7. Cultivos en el departamento del Meta. Elaboración Propia	50

Resumen

La acuicultura consiste en el cultivo de especies animales acuáticas, para ello se utilizan distintos procesos pero inherentemente en cada proceso se generan aguas residuales, con cargas orgánicas e incluso químicas que generalmente no son tratadas y afectan al ecosistema acuático, el suelo alrededor de esta agua residual e incluso la vida humana que entre en contacto con la misma, por ende, se hace vital investigar los procesos productivos de la acuicultura en el municipio de Villavicencio, Meta, Colombia, junto con los tipos de contaminantes que generan en el agua y la manera como realizan el tratamiento de estos para que en base a un estado del arte previamente realizado analizando información relacionado a la acuicultura, antecedentes nacionales e internacionales, tecnologías de tratamiento de aguas, normativas y parámetros; se pueda indicar un sistema de tratamiento de agua para los diversos cultivos en la localidad de estudio.

Palabras claves: Acuicultura, tratamiento de agua, recirculación, agua residual.

Glosario

Biorremediación: Es la descontaminación del agua mediante los procesos que realizan microorganismos.

Desnitrificación: Es el proceso de reducción anaeróbica de nitrato a nitrógeno molecular.

Eutrofización: Es la proliferación descontrolada de algas en el agua debido al exceso de nutrientes causado por actividades humanas.

Fitoplancton. Conjunto de microorganismos que viven en el agua y realizan fotosíntesis.

Fitorremediación: Es la descontaminación del suelo, aire o agua mediante los procesos orgánicos de los vegetales.

Flocs: También llamado flóculo es un conglomerado de partículas sólidas.

Hidroponía: Cultivo de plantas sin utilizar el suelo en donde los minerales y nutrientes son llevados a las plantas por el agua en forma de disoluciones.

Proliferación: Incremento de algo en forma rápida.

Nitrificación: Es la remoción de nitrógeno amoniacal, se oxida el amonio para convertirlo a nitritos, luego se oxida el nitrito para convertirlo en nitrato, la cual es una sustancia menos peligrosa.

Introducción

Se realiza un estado del arte en el cual se puede entender los diferentes sistemas de cultivos existentes, los parámetros fisicoquímicos que afectan a estos y la manera en que lo hacen, junto con la interacción de estos con el recurso hídrico y la salud pública, de modo que se observan las tecnologías utilizadas, las principales empresas en Colombia e Internacionales con el fin de definir la contextura actual de la acuicultura. Con un estado del arte integral se puede proceder a caracterizar los cultivos en el departamento del Meta, observando los contaminantes que producen, la manera en que son gestionados, el sistema en que realizan el cultivo y los parámetros que manejan; para encontrar que ninguno de los cultivos investigados realizan un tratamiento de agua residual y la gestión de contaminantes es pobre lo que abre la posibilidad a altas mortalidades en el cultivo, por lo cual se puede concluir que en el departamento del Meta se manejan principalmente dos tipos de cultivos, en estanque y en río, es decir, con captación y sin captación de agua, y se finaliza con recomendaciones a estos dos sistemas de cultivo, teniendo en cuenta la ausencia de tratamiento y la necesidad de este frente a las altas mortalidades de los diversos cultivos y la sostenibilidad.

Formulación Del Problema

Colombia se está impulsando en la producción por acuicultura, esto según (FAO, 2022), priorizando en el cultivo en agua dulce las especies como la mojarra y la cachama, cultivos que se encuentran presentes por todo el territorio colombiano a diferencia de la camaronicultura que solo se puede producir en agua salada, ahora bien, el cultivo de peces genera contaminantes al agua de forma inevitable, según (Agudelo & García., 2021), desde los desechos orgánicos de estos animales como lo es el amonio, hasta productos químicos producidos por el hombre y aplicados a los cultivos para fumigación, fertilizante, sin olvidar la carga orgánica que se puede producir por la sedimentación del exceso de alimento de los peces lo cual se denomina eutrofización, que consiste en la aparición de fitoplancton debido a los excesos de alimentos; fitoplancton que genera turbidez en el agua impidiendo el paso de la luz solar y disminuyendo el oxígeno disuelto del agua. Todos los contaminantes que generan al agua son desechados en muchos casos sin un tratamiento de vertimiento, por lo cual toda la carga contaminante remanece en los cuerpos de agua en que se desechan, haciendo que, por ejemplo, las comunidades aguas abajo que se abastecen de ese cuerpo de agua se vean afectados por la contaminación, consuman estas sustancias y generen enfermedades en el ser humano como lo explica (Yarto et al., 2003) quien denomina a este conjunto de químico como contaminantes orgánicos persistentes -COP- que son de difícil degradación natural; se pueden encontrar suspendidos en el agua como también pueden bioacumularse en los peces causando varios problemas de salud en los humanos como trastornos hormonales, trastornos reproductivos, supresión del sistema inmunológico y un mayor riesgo de ciertos tipos de cáncer según explica el mismo autor. La problemática de los contaminantes no radica únicamente en los que se encuentran suspendidos en el agua residual sino como se observó anteriormente también se pueden bioacumular en los peces y estos al ser ingeridos desatar enfermedades en las personas, y es que, no todos los cultivos se realizan en estanques fuera de los cuerpos de agua, sino que existe la acuicultura que se realiza en ríos mediante jaulas flotantes lo que permite que el cultivo sea afectado por todo tipo de contaminantes presentes en el cuerpo de agua como lo explica (Carrera-Quintana et al., 2022) tratando el tema de las infecciones bacterianas destacando al E. Coli, Estreptococo, Salmonella, las cuales producen enfermedades gastrointestinales, o la presencia de mercurio el cual según (Marrugo et al., 2007) y (Weinberg, 2007) se encuentra presente en los peces debido a desechos industriales y afectan el sistema nerviosos, producen alteraciones neuronales, cardiovasculares, entre otros.

Por otra parte, los estanques que no tienen recubrimiento y se encuentra el agua en contacto directo con el suelo genera con el tiempo erosión hídrica en base a lo mencionado por (Tayupanta, 1993),

(Castro Mendoza, 2013) y (Cueto et al., 2009) el agua empieza a filtrarse continuamente por los poros del suelo, afectando la compactación de este, los microorganismos presentes, alterando muchas propiedades físicas, químicas y biológicas lo cual genera que el suelo pierda gran parte de su posible uso.

Se ha abarcado las problemáticas a nivel ambiental y a nivel de seguridad alimentaria, pero también existe problemáticas en la economía de las comunidades que se dedican al cultivo de peces pero no cuentan con tratamientos de agua, según explica (FAO, 2017), los cultivos que no poseen un manejo de agua presentan altos porcentajes de mortandad, lo que se traduce en pérdidas financieras, que no solo afectan al acuicultor sino que afecta toda la cadena socioeconómica que representa la industria acuícola.

Objetivos

Objetivo General

Analizar un manejo adecuado de la calidad del agua en la acuicultura realizada actualmente en el departamento del Meta con base a tecnologías nacionales e internacionales.

Objetivos Específicos

-Examinar cualitativamente el proceso productivo de la acuicultura en el departamento del Meta conociendo el tipo de contaminantes que generan en el agua.

-Investigar de forma cualitativa las metodologías de gestión de contaminantes del agua en la industria de la acuicultura, en el departamento del Meta.

-Establecer un sistema de manejo de calidad de agua para la acuicultura en el departamento del Meta con base en la comparación de diferentes tecnologías de tratamiento.

Justificación

Según (FAO, 2017) el tratamiento de agua en los cultivos de peces es de gran importancia pues no solo reduce en gran medida la carga contaminante del recurso hídrico al momento de su salida del cultivo sino que también reduce las enfermedades de los peces, mejora la calidad del cultivo, lo que se traduce en un aumento de productividad pues se reduce la mortalidad, y da una garantía a la salud pública, pues según afirma este ente, en busca de una mejora en la seguridad alimentaria y una sostenibilidad en esta industria, los sistemas con tratamientos de agua o manejo de estas permiten una mayor regulación y vigilancia, garantizando los estándares de calidad.

Realizando un enfoque en los diversos sistemas de manejo de agua se encuentra, por ejemplo, (Kubitza, 2006) quien propone un sistema de recirculación cerrada, en donde el agua es tratada y reincorporada al sistema constantemente, en el tratamiento se elimina todo potencial contaminante y al ser reincorporada se tiene un alto control de la calidad del recurso durante todo el ciclo de vida del cultivo, reduciendo mortandad en el cultivo, aumentando productividad y garantizando calidad sanitaria.

Por otra parte, (Pardo et al., 2006) realiza una análisis de alternativas a los sistemas de recirculación, proponiendo métodos económicos y asequibles para pequeños acuicultores o cultivos lejos de perímetros urbanos, entre estas alternativas se destaca los estanques de sedimentación, el uso de bioflocs, biorremediación, fitorremediación, los cuales indica el autor han demostrado una reducción en las cargas contaminantes pero no permite un control de la calidad, pues son procesos netamente biológicos, por lo cual hace difícil mantener los parámetros estables pero es una buena opción para pequeños cultivos.

Ahora bien, se hace un enfoque en el departamento del Meta debido a que según el plan de desarrollo departamental del meta 2020-2023 dado en la ordenanza 1069 de 2020 se estipula este departamento como uno de los más importantes a nivel de producción de alimentos por sus extensas llanuras, disponibilidad hídrica y cercanía con la capital del país, debido a esto se tiene todo un pilar en el plan de desarrollo departamental el cual figura como “hagamos grande al medio ambiente y saneamiento básico para que florezca la vida” el cual atiende a la sostenibilidad de los medios de producción de alimentos, incluida la piscicultura, en donde se refleja la necesidad de aumentar la productividad utilizando menos recursos ambientales y priorizando la seguridad alimentaria.

Marcos De Referencia

Marco Teórico

Contaminación Del Suelo

La acuicultura puede afectar al suelo al exponer el agua ya sea de forma directa y continua o con altas cantidades de contaminantes, lo cual genera un desbalance en el suelo, afectando su vida útil, y agregando patógenos a estos, afectando las propiedades químicas, biológicas, físicas, del suelo, se puede observar estas afectaciones a continuación:

-Desequilibrio de nutrientes: el agua contaminada puede contener niveles excesivos de ciertas sustancias químicas, como metales pesados o contaminantes industriales. Estas sustancias pueden acumularse en el suelo con el tiempo, lo que provoca desequilibrios en los niveles de nutrientes. Algunos contaminantes pueden inhibir la absorción de nutrientes esenciales por parte de las plantas, perjudicando su crecimiento y desarrollo (Prieto Méndez et al., 2009).

-Erosión hídrica y compactación del suelo: En acuicultura que utiliza cuerpos de agua extensos se presenta de forma clara la erosión hídrica (Tayupanta, 1993), es decir, el agua comienza a erosionar el suelo y transportar sus partículas lentamente lo cual afecta la biodiversidad de esa zona al retirar este suelo (Castro Mendoza, 2013). Por otra parte en los estanques expuestos al suelo sin ninguna geomembrana o geomalla cuando se supera el nivel de saturación del suelo y sigue estando expuesto a un nivel freático se empieza a disminuir el volumen de poros por lo cual aumenta la compactación del suelo inhibiendo el transporte de oxígeno mediante este pues los vacíos de aire se encuentran ocupados por agua, al no existir paso de oxígeno se empieza a degradar la estructura microbiológica lo cual afecta sus propiedades físico-químicas (Cueto et al., 2009).

-Desequilibrio del pH: En la acuicultura los peces desprenden demasiados compuestos nitrogenados al medio acuático, lo cual varía el pH del agua, y esta al estar en contacto con el suelo varía el pH de este, además es posible que se filtre hasta llegar al agua edáfica, es decir, al agua que está presente en el suelo aumentando así la cantidad de suelo afectado por esta variación de pH (Ibáñez, 2007).

-Contaminación del agua subterránea: cuando el agua contaminada se filtra en el suelo, puede filtrarse hacia abajo y potencialmente contaminar las fuentes de agua subterránea. Esta contaminación puede tener consecuencias a largo plazo, ya que las aguas subterráneas son un importante suministro de agua para beber, regar y diversos fines industriales. El agua subterránea contaminada puede exacerbar

aún más los problemas de contaminación del suelo al filtrar continuamente los contaminantes al suelo (Cueto et al., 2009).

-Pérdida de biodiversidad: La contaminación del agua puede tener un impacto negativo en la biodiversidad del suelo. Los organismos del suelo, incluidas bacterias, hongos, gusanos e insectos, desempeñan funciones vitales en el ciclo de nutrientes, la descomposición y el mantenimiento de la estructura del suelo. La presencia de contaminantes en el agua puede dañar a estos organismos, interrumpiendo la red alimentaria del suelo y reduciendo la biodiversidad en general. Esta pérdida de biodiversidad del suelo puede debilitar la resiliencia y la productividad del suelo (Cueto et al., 2009).

Enfermedades Al Ser Humano Por Pescado En Malas Condiciones

Como todo alimento, el pescado debe estar sujeto a normativas de bioseguridad, ya que los contaminantes que puedan tener los peces llegan a ser consumidas por las personas produciendo diversas enfermedades. Si bien la acuicultura generalmente se lleva a cabo en condiciones controladas, llegan a existir casos en los que los peces estén expuestos a contaminantes, ya sea debido a la mala calidad del agua o a prácticas de manejo inadecuadas, entre las cuales puede deberse a la presencia de animales externos en el caso que se desarrolle el cultivo en medios abiertos como por ejemplo los jaulones en ríos o lagunas son propensos a que algún otro animal puedan transportar ciertos microorganismos contaminantes, otro punto clave por el que se produce contaminantes radica en una mala calidad en los alimentos o mala gestión de desechos, o simplemente por un estrés en el pez causado por oxígeno disuelto escaso, sobrepoblación en el cultivo, entre otros. Las enfermedades de los peces es un problema que depende de diversos factores al que se ha enfrentado la acuicultura, pues genera grandes consecuencias en el cultivo, genera pérdidas desde un mayor consumo de alimento debido a que los peces enfermos pierden el apetito hasta incluso la contaminación completa del cultivo llevando a la pérdida total de este (FAO, 2017). Las enfermedades en los peces pueden ser clasificadas generalmente de la siguiente manera.

-Infecciones bacterianas: la calidad inadecuada del agua o las condiciones insalubres en los sistemas de acuicultura pueden contribuir a la contaminación bacteriana de los peces. El consumo de pescado contaminado con bacterias patógenas, como Salmonella, Vibrio o Escherichia coli (E. coli), Streptococos, Aeromonas Salmonicida, Aeromonas hydrophila, puede provocar enfermedades gastrointestinales, como intoxicación alimentaria, diarrea, dolor abdominal y vómitos (Carrera-Quintana et al., 2022).

-Infecciones parasitarias: Los peces de acuicultura pueden ser susceptibles a varios parásitos, algunos de los cuales pueden transmitirse a los humanos a través del consumo. Por ejemplo, el parásito *Anisakis simplex* puede infectar al pescado y, si se consume crudo o poco cocinado, puede causar anisakiasis en humanos. Los síntomas incluyen dolor abdominal intenso, náuseas, vómitos y reacciones alérgicas (Teresa Audicana et al., 1995).

-Infecciones virales: Las enfermedades virales en la acuicultura pueden afectar a las poblaciones de peces y pueden tener un potencial zoonótico, lo que significa que pueden transmitirse de animales a humanos. Si bien la transmisión de virus de peces a humanos es relativamente rara, ha habido casos en los que infecciones virales, como el virus de la septicemia hemorrágica viral (VHSV) o el virus de la anemia infecciosa del salmón (ISAV), se han asociado con enfermedades en humanos. (Kibenge, 2019); (Ahne, 1994).

-Contaminantes químicos: los peces criados en sistemas de acuicultura pueden estar expuestos a varios contaminantes químicos, incluidos pesticidas, antibióticos, metales pesados y contaminantes industriales. El uso inadecuado de productos químicos o fuentes de agua contaminada puede provocar la acumulación de estos contaminantes en los tejidos de los peces. El consumo prolongado de pescado contaminado con altos niveles de estas sustancias puede provocar efectos adversos para la salud, como toxicidad, daño a los órganos, problemas de desarrollo y un mayor riesgo de cáncer (FAO, 2017).

-Floraciones de algas productoras de toxinas: Los sistemas de acuicultura ubicados en entornos costeros o marinos pueden ser vulnerables a las floraciones de algas nocivas (FAN). Ciertas especies de algas pueden producir toxinas que se acumulan en los peces, como los mariscos, y causar enfermedades en los humanos que las consumen. Estas toxinas, conocidas como biotoxinas marinas, pueden provocar afecciones como intoxicación amnésica por mariscos, intoxicación paralizante por mariscos, intoxicación neurotóxica por mariscos e intoxicación diarreica por mariscos (Reguera et al., 2011).

La acuicultura también se puede desarrollar en cuerpos de agua tales como ríos, lagos, mares por lo cual se pueden generar diversas enfermedades producto de fenómenos externos que contaminen este cuerpo de agua, y generar otras enfermedades al ser humano cuando se es consumido este pez contaminado, tales como:

-Envenenamiento por mercurio: el mercurio es un metal pesado tóxico que se encuentra comúnmente en los peces, particularmente en las especies depredadoras más grandes. (Marrugo et al., 2007). Cuando los humanos consumen pescado contaminado con altos niveles de mercurio, pueden provocar envenenamiento por mercurio. El mercurio afecta principalmente al sistema nervioso y provoca

síntomas como trastornos neurológicos, deterioro cognitivo, retrasos en el desarrollo de los niños y problemas cardiovasculares (Weinberg, 2007).

-Envenenamiento por metilmercurio: El metilmercurio es una forma altamente tóxica de mercurio que se forma en ambientes acuáticos, particularmente en ciertos peces depredadores. (Marrugo et al., 2007). El metilmercurio puede atravesar la placenta, afectando al feto en desarrollo en mujeres embarazadas y presentando riesgos para el desarrollo neurológico del feto. Puede causar daños severos al sistema nervioso, lo que lleva a una alteración de las habilidades motoras, problemas de visión, audición y déficits cognitivos (Weinberg, 2007).

-Contaminación con PCB: Los bifenilos policlorados (PCB) son productos químicos industriales que se usaban ampliamente en equipos eléctricos y otras aplicaciones. Aunque han sido prohibidos en muchos países, los PCB persisten en el medio ambiente y pueden acumularse en los peces. El consumo prolongado de pescado contaminado con PCB se ha relacionado con varios problemas de salud, incluidos problemas de desarrollo en los niños, trastornos hormonales, trastornos del sistema inmunitario y un mayor riesgo de ciertos tipos de cáncer (Ramos et al., 1989).

-Exposición a dioxinas: las dioxinas son contaminantes ambientales altamente tóxicos que pueden ingresar a los ecosistemas acuáticos a través de procesos industriales, incineración de desechos y otras fuentes. Los peces que viven en aguas contaminadas pueden acumular dioxinas en sus tejidos. La exposición humana a las dioxinas a través del consumo de pescado contaminado se ha asociado con una variedad de efectos adversos para la salud, incluidos los trastornos reproductivos, el deterioro del sistema inmunitario, la alteración endocrina y un mayor riesgo de cáncer (Manciulea & Dumitrescu, s. f.).

-Contaminantes orgánicos persistentes (COP): los COP se refieren a un grupo de sustancias químicas tóxicas que incluyen pesticidas, sustancias químicas industriales y otros compuestos orgánicos que son resistentes a la degradación ambiental. Estos compuestos pueden bioacumularse en los peces y causar varios problemas de salud en los humanos. Algunos efectos de la exposición a COP a través del pescado contaminado incluyen trastornos hormonales, trastornos reproductivos, supresión del sistema inmunológico y un mayor riesgo de ciertos tipos de cáncer (Yarto et al., 2003).

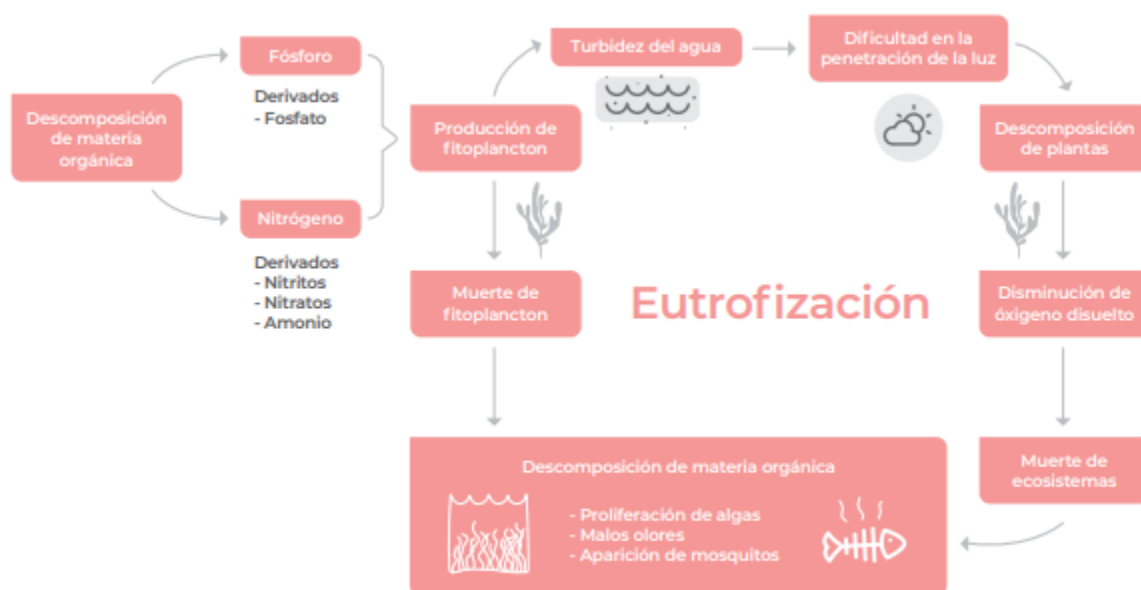
Generación De Contaminantes Del Agua En La Acuicultura

La contaminación del agua en la acuicultura es inevitable, ya que solamente los peces al generar sus desechos alteran las propiedades fisicoquímicas del agua, debido a que estos desechos tienen compuestos nitrogenados que afectan el pH; por otra parte, la alimentación de los peces no es consumida

en su totalidad, ya que estos dejan caer hasta el fondo de los estanques el alimento, decantándose, y generando contaminación por descomposición, promoviendo la aparición de microorganismos, sumado a esto la aplicación de químicos, medicamentos o demás también alteran las propiedades del agua, por lo cual cuando se realiza el recambio de agua, la que ya se encuentra con todos estos contaminantes es desechada sin ningún tratamiento, por lo cual afecta el medio al cual sea desechada, como afluentes de agua, como también afecta el suelo. Ahora si se contempla la acuicultura en cuerpos de agua, y no en estanques, también existe la contaminación por la introducción de equipos al afluente, lo que cambia el funcionamiento del ecosistema del lugar, lo que afecta toda la calidad de vida del medio.

-Alimentación excesiva: la sobrealimentación en la acuicultura puede provocar la acumulación de alimentos no consumidos y desechos orgánicos en el agua. Este exceso de materia orgánica puede descomponerse y liberar contaminantes como amoníaco, nitrato y fosfato en el agua, lo que puede causar eutrofización, agotamiento del oxígeno y daño a la vida acuática. (Agudelo & García., 2021)

Figura 1. Proceso de eutrofización.



Nota: Tomado de (Agudelo & García, 2021)

-Desechos de pescado y productos químicos: los peces excretan amoníaco, un compuesto tóxico que puede acumularse en el agua si no se maneja adecuadamente. Los altos niveles de amoníaco pueden ser dañinos para los peces y otros organismos acuáticos. Los desechos de pescado también contienen

otros nutrientes, como nitrógeno y fósforo, que pueden contribuir al enriquecimiento de nutrientes y la proliferación de algas si superan la capacidad del ecosistema para asimilarlos. Por otra parte, la acuicultura a menudo depende del uso de medicamentos, antibióticos y productos químicos para prevenir enfermedades y controlar plagas. El uso inadecuado o excesivo de estas sustancias puede provocar su descarga en los cuerpos de agua circundantes, lo que podría provocar la contaminación del agua y el desarrollo de bacterias resistentes a los antibióticos. (Agudelo & García., 2021).

Manejo General De Agua Contaminada En La Acuicultura

Lo principal para el manejo de agua en la acuicultura es el monitoreo regular de los parámetros de calidad del agua para poder identificar cualquier cambio o problema de contaminación. Los parámetros como la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto, el pH, las concentraciones de amoníaco, nitrato y fosfato se controlan comúnmente. El monitoreo ayuda a los acuicultores a detectar problemas potenciales desde el principio y tomar las medidas apropiadas.

Para el manejo del oxígeno disuelto se tienen múltiples manejos que van desde la instalación de cascadas en la toma de agua en caso de que se realice el cultivo en cuerpos de agua como ríos; diseñar el estanque de manera que el recorrido del viento sea mayor por la superficie del agua; reducir la turbidez del agua para que el sol pueda penetrar y así el fitoplancton realice mayor fotosíntesis y proporcione más oxígeno al medio; uso de aireador que aumenten la cantidad de oxígeno al agua; evacuar el agua menos oxigenada que generalmente es la encontrada en el fondo, mediante algún desagüe y agregando en su lugar agua más oxigenada, lo que se conoce como recambio de agua. (FAO, 2017)

El flujo y el intercambio de agua adecuados son cruciales para diluir los contaminantes y mantener la calidad del agua. Esto se puede lograr a través de técnicas tales como sistemas de recirculación de agua, sistemas de flujo continuo y el uso de estanques de sedimentación o humedales. Estos métodos ayudan a eliminar o reducir los contaminantes al reemplazar o purificar el agua.

Para la eliminación de la turbidez se emplean los sistemas de filtración los cuales eliminan partículas y sólidos del agua, lo que permite mayor calidad de agua ya que la luz solar o la luz que se utilice en el cultivo puede penetrar más profundo en el estanque, lo que ayuda a mantener una temperatura estable, ayuda a la fotosíntesis del fitoplancton. Los filtros mecánicos se utilizan para retirar las partículas suspendidas como los excesos de alimento, suelen funcionar mejor para la eliminación de la turbidez cuando se usan junto con zonas de sedimentación. (FAO, 2017). Los biofiltros se usan comúnmente para mejorar la claridad del agua y reducir los desechos orgánicos que son generalmente compuestos

nitrogenados, estos biofiltros se encargan de la nitrificación. Además, las tecnologías de tratamiento avanzadas, como la esterilización ultravioleta (UV) y el tratamiento con ozono, se pueden utilizar para desinfectar el agua y controlar los patógenos.

Otra área importante a manejar es la gestión de residuos que incluye la eliminación de alimentos no consumidos, heces y exceso de nutrientes. Se pueden usar técnicas como estanques de sedimentación, tanques de sedimentación y humedales construidos para capturar y tratar los desechos sólidos antes de que se viertan.

Además de la gestión de residuos es importante la gestión de alimentos, o gestión de nutrientes, ya que es esencial para prevenir la eutrofización y la proliferación de algas. Los acuicultores emplean estrategias como el manejo cuidadoso de los alimentos, el ajuste de las tasas de alimentación para que coincidan con las necesidades nutricionales de los organismos cultivados y el uso de alimentos formulados que minimizan el desperdicio de nutrientes.

La prevención y el control de enfermedades son cruciales en la acuicultura para reducir la necesidad de medicamentos y productos químicos que pueden contribuir a la contaminación del agua. Las medidas de bioseguridad adecuadas, como los protocolos de cuarentena, las inspecciones sanitarias regulares y los programas de vacunación, ayudan a prevenir la introducción y propagación de enfermedades dentro de las instalaciones acuícolas.

Por último, las operaciones de acuicultura están sujetas a las normas y directrices establecidas por los organismos gubernamentales. El cumplimiento de estas reglamentaciones garantiza que se mantengan los estándares de calidad del agua y que las posibles fuentes de contaminación se gestionen adecuadamente. Las agencias reguladoras pueden exigir permisos, inspecciones de rutina y aplicar sanciones por incumplimiento.

Estado Del Arte

Principales Empresas Acuícolas en Colombia

Ceniacua

Ceniacua -Centro de Investigación de la acuicultura de Colombia- se especializa en servicios tecnológicos y científicos aplicables a la acuicultura que permite mejorar los procesos productivos

mediante diversas asesorías técnicas, análisis de laboratorios que permiten al acuicultor conocer los parámetros de sus cultivos tanto del agua, de sanidad o de suelo. (CENIACUA, 2019)

Cuenta desde asesorías técnicas, ventas de semilla de mejoramiento genético, venta de alevinos de cobia *rachycentron canadum*, servicios de análisis sanitario, servicios de análisis de suelo y servicio de análisis de calidad de agua.

Piscícola Botero

Dedicada a la producción y venta de tilapia, tanto entera, en filete, o sus alevinos. Mediante su página oficial <https://www.botero.com.co/produccion.php> se puede encontrar como sus distintos cultivos se encuentran ubicados en el departamento del Huila, Colombia. (Botero, 2020)

Agua Verde Acuicultura

(Acuicultura, 2020) En su portafolio de servicios se encuentran asesorías técnicas, apoyos para la comercialización de productos acuícolas, producción y venta de tilapia nilótica, tilapia roja, cachama, carpa roja, bocachico, yamú, bagre rayado, bagre yaqué. Ubicados en el municipio de Villavicencio, Meta, en los llanos orientales colombianos.

En su portafolio se encuentran las tablas de parámetros de calidad de agua que utilizan para sus cultivos, a continuación se muestra la tabla para el cultivo de tilapia nilótica, y se tiene en cuenta que estos parámetros cambian ligeramente dependiendo de la especie, por ejemplo, en el oxígeno disuelto solo cambia en el yamú de 4 ppm en 24°C a 5 ppm en la misma temperatura; en la alcalinidad es el bocachico el que varía teniendo este un parámetro de 80 ppm a 24°C; el último cambio se encuentra en el pH para la carpa roja y el bocachico siendo un pH de 6.0 el aceptable a 24°C .

Tabla 1. Parámetros de calidad de agua

Temperatura °C	24° a 30° C	
Oxígeno Disuelto (ppm)	4	7
Alcalinidad (ppm)	90	250
Dureza (ppm)	60	150
pH	6,5	8,5

Tabla 1. Continuación

Amonio Total (ppm)	0	1
Amonio no ionizado (ppm)	0,1	0,2
Nitrito (ppm)	0	0,05
Dióxido de carbono (ppm)	0	20

Nota: Tomado de la página web oficial de la empresa Agua Verde Acuicultura www.aguaverdeacuicultura.com

Principales Empresas Acuícolas Internacionales

Nissui

(Nissui Group, 2020) Empresa japonesa dedicada a la pesca marina, investigación, tecnología en el campo marino, también se dedica a la acuicultura cultivando salmón y trucha fuera de Japón ya que dentro de este se especializan en cultivos de pez Jurel -cola amarilla-, atún rojo, salmón coho, caballa y pez besugo.

Nissui se encuentra tan comprometido con la calidad de los cultivos que han establecido dentro de su empresa un sistema de gestión para la salud en la acuicultura, por sus siglas N-AHMSR lo que significa “Nissui Aquaculture Health Management System”; este sistema ha permitido investigaciones que mejoran la calidad de vida de los peces cultivados, mejorando el rendimiento del producto, sabor, apariencia de la carne y subproductos; entre estas investigaciones realizadas por Nissui, se encuentra la alimentación del pez Jurel -cola amarilla- con porcentajes de pimienta roja, lo cual ha permitido mejorar la calidad de la carne de este pez, ya que se mantiene de color rojizo y un buen sabor durante más tiempo. Un gran logro de las investigaciones de este sistema es el hecho de que han mejorado la circulación sanguínea y la respiración del pez Jurel -cola amarilla-, lo que permite reducir los niveles de estrés del pez lo que ayuda a mantener la frescura de la carne luego de que el pez sea cosechado.

Cermaq

Es una multinacional completamente propiedad de Mitsubishi Corporation dedicada completamente al cultivo de salmón en aguas marinas en Chile. (Cermaq, 2020).

La cadena de valor que maneja esta empresa la denominaron “desde la ova al plato” y comprende desde la incubación de ova, alevinaje, engorde, planta de procesamiento.

Skretting

Es el líder mundial en fabricación y suministro de alimentos para la acuicultura, presente en 18 países, cada uno con una producción distinta por la posición geográfica; las oficinas principales se encuentran en Noruega. (Skretting, 2023).

Algaea

Es una empresa tailandesa proveedora de tecnología para automatizar el criadero de camarón mediante los programas SeaThru's Counter el cual cuenta y mide las postlarvas de camarón; SeaThru's Bolt-ON que ayuda a monitorear el proceso de postlarvas. Además, poseen la patente de un concentrado de microalgas el cual ayuda al proceso de edad temprana de los camarones y otros peces ya que pueden alterar la fórmula para que funcione en otras especies. (Algaea, 2020).

Thai Union Group

Es una de las empresas más grandes de procesamiento y venta de productos acuícolas, desde salmón, atún, tilapia, camarón y muchos más. Es dueño de marcas como Chicken of the Sea, Premium Tuna, John West, PetitNavire, Parmentier, King Oscar, MareBlue, RügenFisch, Sealect, Fisho, QFresh, Monori. Sus productos abarcan desde pescado congelado, enlatado, para consumo humano o consumo de mascotas con un sello de calidad reforzado por años de investigación y tecnología priorizando la seguridad alimentaria en sus productos. (ThaiUnion Group, 2019).

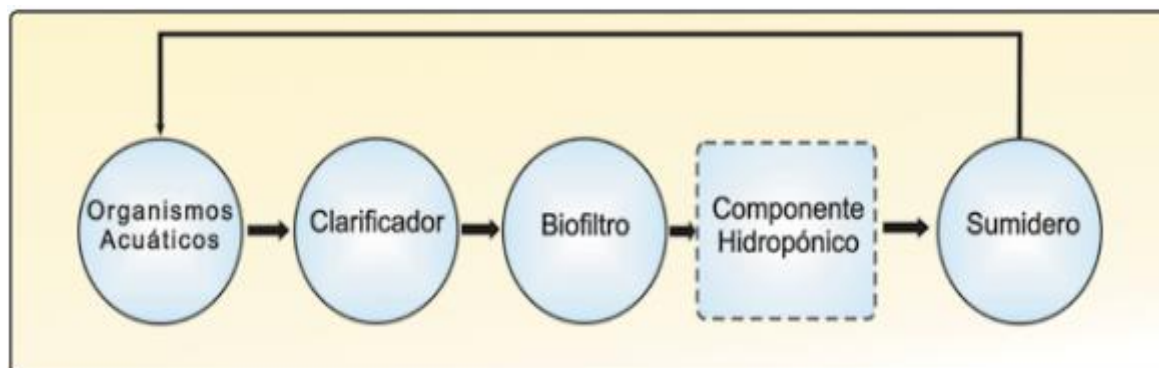
Sistemas de cultivo

-Sistema de recirculación de acuaponía

En este sistema se incorpora una armonía entre el cultivo de alimentos en tierra y en agua como una forma alternativa de economía circular, es decir, los desechos de uno brindan alimento al otro de manera cíclica.

La principal característica de este sistema es el aprovechamiento de residuos sólidos generados por el cultivo por parte del componente hidropónico, en este caso, las especies vegetales que toman estos residuos como fuente de alimentos retirándolos del agua mejorando así su calidad; claramente es necesario cierto proceso de biofiltración para que estos residuos no amenacen al componente hidropónico como se puede observar en la siguiente ilustración donde se especifica una posible línea de tratamiento de agua con un sistema hidropónico. (Gutiérrez, 2012).

Figura 2. Línea de tratamiento de sistema hidropónico



Nota: Tomado de (Gutiérrez, 2012)

-Sistema de recirculación cerrada

Este sistema presenta según (Kubitza, 2006) los siguientes componentes:

- Tanque de cultivo.
- Decantadores y filtros mecánicos: encargados de transportar las partículas sólidas del sistema.
- Biofiltros: Se encargan de procesos como la desnitrificación del sistema, es uno de los componentes más importantes para la vida del cultivo.

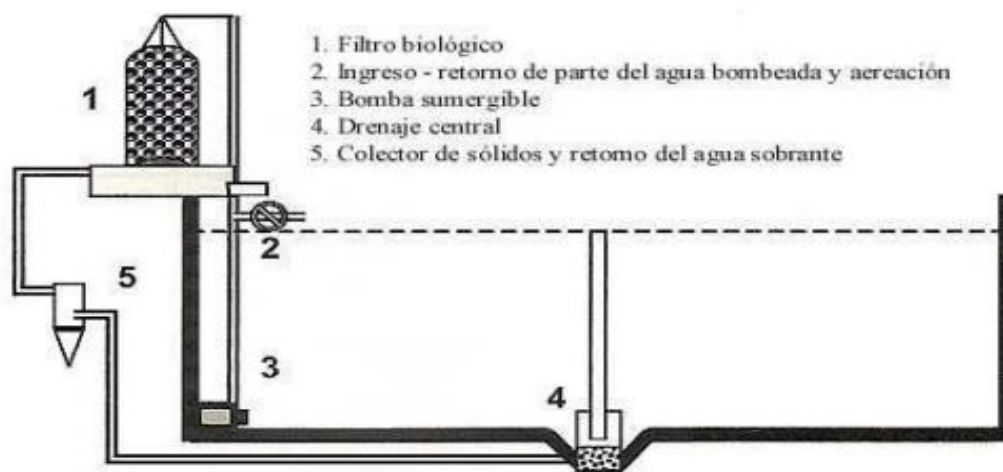
-Sistema de oxigenación: Brindan oxígeno disuelto al sistema permitiendo al cultivo una óptima respiración mejorando la calidad de vida del cultivo.

-Sistema de bombeo: Se utiliza para el retorno del agua al sistema una vez se encuentre tratada.

-Área de cuarentena: En donde se depositan aquellos peces con alguna enfermedad o infección, evitando la propagación de esta.

Propone (Kubitza, 2006) dos tipos de sistema de recirculación cerrada, uno el cual posee una sola línea de tratamiento para todos los tanques y otro que maneja todos los tanques por separado; en este proyecto se maneja un solo tanque para aminorar la carga operacional del sistema, permitiendo un mejor mantenimiento y mayor eficiencia; una vez seleccionado el sistema a utilizar se presenta a continuación.

Figura 3. Tanque con sistema individual de tratamiento



Nota: Tomado de (Kubitza, 2006)

Tecnologías para el manejo de la contaminación del agua

Colombia en el área del manejo del agua contaminada posee alternativas técnicas como las prácticas de manejo denominadas BMP -Better Management Practices- por lo que se traduce al español como “Mejores prácticas de manejo”, entre estas se incluye: no alimentar más de lo debido para evitar que sobre demasiado alimento y este se sedimente, se debe respetar la capacidad de cultivo, la cual consiste en que dependiendo de la especie existe cierto número de peces por metro cúbico de agua, si se excede esta capacidad se presenta polución en el agua, y otras de las múltiples prácticas de manejo incluye la medida al momento de aplicar químicos, fertilizantes, etc. Como segunda alternativa Colombia

desarrolla tecnologías para tratamiento de los efluentes de agua contaminada, como lo son los estanques de sedimentación, el uso de biotransformadores como los bioflocs, la implementación de acuicultura multitrófica integrada. (Pardo et al., 2006).

Estanques de sedimentación y humedales

Estos sistemas permiten la sedimentación de sólidos en suspensión y materia orgánica, reduciendo la carga de nutrientes en los efluentes vertidos a los cuerpos de agua. Los humedales, mangles artificiales, plantas o moluscos también ayudan a eliminar contaminantes a través de procesos de filtración natural. (Pardo et al., 2006).

Bioflocs

Consiste en agregar comunidades de microorganismos al estanque para funcionen como flocs, se mantienen en suspensión en el agua y mediante sus procesos biológicos consumen oxígeno, carbono, la materia orgánica producida por el cultivo como lo son los compuestos nitrogenados, de esta manera este método ayuda a reducir el nitrógeno presente en el agua ya que los microorganismos lo consumen para desarrollar en microalgas, u otros organismos que generan una relación ecosistémica óptima para el crecimiento del cultivo, pero consumen parte del oxígeno disuelto del agua, por lo cual, el uso de esta tecnología requiere una mayor inversión en sistemas de oxigenación del sistema. (Mancipe et al., 2019).

Los bioflocs pueden ser algas, bacterias, protozoos que son amigables con una gran variedad de microorganismos que sustentan nutrientes a los peces, pero presenta la dificultad al momento de realizar medidas o control de la calidad del agua, lo cual deja a este sistema como uno oportuno para cultivos tradicionales de poca inversión pero que no aseguran una calidad operativa y productiva. (Carrera Quintana et al., 2022)

Acuicultura multitrófica integrada (IMTA)

IMTA es una práctica que involucra distintos cultivos de distintas cadenas tróficas, es decir, los desechos orgánicos del cultivo de peces sirven como alimento para otras especies, permitiendo que la carga orgánica del agua sea reducida y aprovechada por estas otras especies que a su vez pueden servir para el consumo de los peces, o consumo humano, dependiendo del enfoque del cultivo multitrófica. Por

ejemplo, combinar la piscicultura con el cultivo de algas, mariscos, o vegetales cultivados en las orillas de los estanques para que puedan absorber los desechos orgánicos del agua y aprovecharlos como nutrientes. (García, 2012)

Fitorremediación.

(López et al., 2004) Consiste en el uso de plantas para reducir la concentración de contaminantes orgánicos, inorgánicos presentes en el agua, aire, suelo; entre las diversas técnicas de fitorremediación se encuentra:

- Fito degradación o Fito transformación. A través de las reacciones enzimáticas de las plantas y microorganismos en la rizosfera, es decir, en la parte del suelo donde se encuentran las raíces de la planta, se transforman los contaminantes orgánicos como los hidrocarburos, plaguicidas, detergentes en sustancias menos tóxicas.

- Fito estimulación. Las actividades fisiológicas de las plantas producen azúcares simples, aminoácidos, compuestos alifáticos y aromáticos, nutrientes, enzimas, y oxígeno que es transportado hasta las raíces en donde se produce un desarrollo de comunidades microbianas como hongos y bacterias, las cuales mineralizan los contaminantes.

- Fito volatilización. Las plantas pueden absorber contaminantes como mercurio o selenio, metabolizarlos y liberarlos a la atmósfera en formas volátiles menos tóxicas.

Biorremediación

Consiste en la transformación o degradación de contaminantes mediante los procesos que realizan los microorganismos, en la acuicultura esta técnica toma relevancia ya que permite la descomposición de los compuestos nitrogenados que produce el cultivo. (Lopes et al., 2021).

Parámetros de contaminación del agua

En la acuicultura, se debe monitorear y mantener en un rango óptimo ciertos parámetros físico químicos para asegurar una calidad de agua que permita al cultivo desarrollarse sanamente, sin ningún estrés físico; dependiendo del tipo de cultivo -estanques, en ríos, en mar- y de la especie a cultivar cambian ciertos parámetros, ya que por ejemplo, en estanques a diferencias que en ríos no se tienen presencia de

escorrentías superficiales, ni vertimientos de químicos a aguas contaminadas, a continuación se listan los parámetros más importantes para la acuicultura.

-Oxígeno Disuelto (OD): El oxígeno disuelto es esencial para la respiración de los organismos acuáticos. Los niveles insuficientes de OD pueden provocar hipoxia, donde la demanda de oxígeno excede el suministro, causando estrés o la muerte en peces y otros organismos. La contaminación o el exceso de materia orgánica en el agua pueden agotar el oxígeno disuelto a través de la descomposición bacteriana, o también se ve afectada por la fotosíntesis del fitoplancton. (González et al., 2016).

El oxígeno disuelto depende de tres factores físicos fundamentales: la temperatura, la presión atmosférica, la salinidad; cuanto más caliente se encuentre el agua menor cantidad de oxígeno es capaz de contener, en el caso de la presión cuanto más baja sea, menor oxígeno puede contener el agua y en la salinidad ocurre lo mismo si esta aumenta. (FAO, 2017).

Por otra parte, es necesario tener en cuenta las necesidades de oxígeno de los peces las cuales varían dependiendo de la especie, el tamaño y la temperatura del agua, esta última no solo afecta el oxígeno disuelto, sino que al estar en rangos de poca tolerancia para el pez genera que este tenga que realizar mayor esfuerzo en su organismo para sobrevivir lo que lo lleva a consumir más oxígeno del medio. (FAO, 2017).

Tabla 2. Requerimiento de OD de distintas especies de peces.

Requerimiento de OD en las distintas etapas de la vida (mg/l o porcentaje de valores de saturación)			
Especies de Peces	Huevos y juveniles	Adultos	
		Contenido mínimo de OD	Contenido Preferido de OD al menos igual a:
Trucha	Cerca de 100%	5 mg/l (50%)	8 mg/l o 70%
Carpa común	Al menos 70%	3 mg/l (30%)	5 mg/l o 50%
Tilapia	Al menos 70%	2 mg/l	4 mg/l o 50%
Bagre africano	Al menos 90%	1 mg/l o menos (respiración aérea)	3 mg/l o 35%

Nota: Tomado de (FAO, 2017)

-Turbidez: Las partículas suspendidas en el agua generan turbidez afectando la cantidad de luz que penetra el cuerpo de agua, haciendo que la temperatura varíe a medida de la profundidad del agua y el proceso de fotosíntesis del fitoplancton; además cuando se trata de turbidez mineral, es decir, dada por partículas de arcillas, limos existe la incidencia directa de esta sobre la capacidad respiratoria del pez,

afectando su crecimiento, impidiendo la reproducción y enfermándolo dependiendo de la cantidad de turbidez. (FAO, 2017).

-Temperatura: La temperatura del agua afecta las tasas metabólicas, el crecimiento, la reproducción y la salud general de los organismos acuáticos. Algunas especies tienen preferencias de temperatura específicas y las desviaciones de su rango óptimo pueden afectar su bienestar. También la temperatura afecta en gran medida el oxígeno disuelto. (González et al., 2016)

Una temperatura muy baja logra que sea más lento el desarrollo de los huevos, reduce el crecimiento de los juveniles y de los peces de más edad, retrasa e impide la maduración y desove, disminuye la absorción de alimentos e incluso llega a detenerla completamente y, por último, aumenta la vulnerabilidad a enfermedades e infecciones. (FAO, 2017).

-pH: El agua puede ser ácida, alcalina o neutra; esto se mide mediante el pH y afecta a los vegetales o animales que se desarrollen en este medio, los valores extremos de pH pueden matar los peces; la tolerancia al pH varía dependiendo de la especie y de su etapa de crecimiento, los huevos son más sensibles al pH que los adultos, un rango óptimo varía entre 6,5 y 8,5 de pH; debajo de 5,5 la reproducción de los peces se ve afectada; debajo de 4,5 se observaron mayor deceso de peces; el pH superior a 9 era dañino para los huevos y los juveniles; el pH igual o mayor a 11 presentaba un alto número de decesos. (FAO, 2017).

Los organismos acuáticos tienen tolerancias de pH específicas y las desviaciones de su rango preferido pueden afectar sus funciones fisiológicas. Normalmente los peces soportan pH entre 7 y 8,5 pero cuando se sale de estos rangos ralentiza el crecimiento del pez, puede provocar enfermedades en este y la muerte. (Agudelo & García., 2021)

-Amoníaco y Nitrito: El amoníaco y el nitrito son compuestos nitrogenados que pueden ser tóxicos para los organismos acuáticos. En los sistemas de acuicultura, el amoníaco es excretado por los peces y la materia orgánica descompuesta, mientras que el nitrito se produce durante la descomposición del amoníaco. La contaminación por exceso de alimento para peces, acumulación de desechos o filtración deficiente puede generar niveles altos de amoníaco y nitrito. (Ugalde, 2013)

-Salinidad: La salinidad se refiere al contenido de sal en el agua y puede variar según el tipo de sistema de acuicultura (por ejemplo, agua dulce, agua salobre o marina). Este parámetro se tiene en cuenta únicamente en cultivo de especies marinas, ya que en las especies de agua dulce no se debe encontrar salinidad en el agua ya que podría acabar con el cultivo.

-Sólidos suspendidos: Los sólidos suspendidos incluyen partículas orgánicas e inorgánicas que están presentes en el agua. Los altos niveles de sólidos en suspensión pueden reducir la claridad del agua,

obstruir los filtros y afectar negativamente la salud y el crecimiento de los organismos acuáticos. La contaminación por la escorrentía de sedimentos, la proliferación de algas o la descarga industrial puede aumentar los sólidos en suspensión en los sistemas acuícolas. (Agudelo & García., 2021)

-Contaminantes químicos: el agua de acuicultura debe estar libre de contaminantes químicos, incluidos metales pesados, pesticidas, herbicidas y contaminantes industriales. Estos contaminantes pueden acumularse en los organismos acuáticos, presentando riesgos para su salud y una posible bioacumulación en la cadena alimentaria.

Indicadores generales del agua para la acuicultura

En los procesos de tratamiento de aguas se deben tener en cuenta ciertos indicadores establecidos ya sea por una normativa o también con ayuda de antecedentes por documentación con rigor científico comprobados por experimentación como es el caso de (Kubitza, 2006) donde se presenta la siguiente tabla.

Tabla 3. Indicadores de parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Adecuado para los peces	Adecuado en el biofiltro	Nivel de atención y nivel letal (1)	¿Cuándo y dónde monitorear?
Oxígeno disuelto	> 4 mg/l	> 4 mg/l	< 3 mg/l	Continuo para cada tanque. En el agua de retorno a los tanques
pH	7,0-8,0	7,5-8,5	< 6,5 Letal <5,0	Una vez/día a su inicio. Con agua verde además al final de la tarde. En agua de retorno a los tanques luego de la aireación. Entrada y salida de biofiltros (donde los peces consumen mucho)
Gas Carbónico	< 5 mg/l	< 5 mg/l	> 20 mg/l	Cada 2-3 días al principio del día. Saluda y entrada biofiltro (donde los peces consumen mucho y nadan lento)
Amoníaco tóxico	< 0,2 mg/l		> 0,6 mg/l Letal <3 mg/l	Una vez/día junto a pH. En línea de abastecimiento de tanques. Entrada y salida biofiltro.
Alcalinidad		> 100 mg CaCO ₃ /l	< 30 mg/l	Por lo menos 1 vez/semana. En el agua del sistema
Nitrito	< 0,3 mg/l		> 1 mg/l Letal > 5 mg/l	Diariamente en el agua de c/batería de tanques. Semanalmente en entrada y salida del biofiltro

Tabla 3. Continuación

Nitrato	< 50 mg/l		> 400 mg/l	Semanalmente en agua de c/batería de tanques
Sólidos en suspensión	< 20 mg/l		> 100 mg/l	Cada 2 semanas

Nota: Tomado de(Kubitza, 2006)

Marco Normativo

La primera forma como Colombia abarca la contaminación del agua en la acuicultura es mediante la prevención, control y planificación de las posibles de acciones que preserven los ecosistemas acuáticos, para ello se despliega un marco institucional y un marco legal que rige a la acuicultura colombiana. (Jaramillo et al., 2021).

Marco Institucional

En el marco institucional se debe contemplar todas las instituciones que hacen cumplir las leyes y decretos que abarca el tema de la contaminación del agua en la acuicultura.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR-

Es la primera autoridad competente en materia de política pesquera y acuícola desde su formulación, publicación hasta evaluación, implementando así los planes nacionales de desarrollo y promoviendo el desarrollo social en la agricultura, la pesca y las zonas rurales.

Según el decreto de 2013 de 1985, actualmente gestiona la cadena pecuaria, pesquera y acuícola, donde se han desarrollado herramientas e incentivos como el financiamiento y promoción de la producción, la comercialización interna y externa, la investigación técnica en pesca y acuicultura.

En base a la Ley N° 1876 de 2017, se estableció el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria bajo el control del Ministerio con el objetivo de aumentar la productividad y competitividad del país mediante la educación y capacitación de los acuicultores del país en el campo de la innovación agrícola.

Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca-AUNAP-

Esta institución depende del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y tiene por objeto implementar el proceso de planificación, promoción, ordenación, control y seguimiento de las actividades pesqueras y acuícolas de conformidad con la política emitida por el MADR (Decreto N° 4181 de 2011 artículo 3).

Esta institución pública tiene independencia administrativa y presupuestaria de su patrimonio, su personería jurídica está adscrita a su ministerio rector, en este caso -MADR-, el cual está descentralizado del poder ejecutivo del orden estatal y por lo tanto puede dictar actos normativos a nivel de resoluciones con los que realiza la regulación y ordenamiento de la acuicultura en Colombia.

Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible-MADS-

El Decreto 3570 de 2011 dictamina que la dirección de asuntos marinos costeros y recursos acuáticos de este ministerio, tiene la competencia para la formulación de políticas relacionadas al manejo de ecosistemas del territorio marino y costero, lo cual es relevante para la actividad pesquera o la acuicultura marina, pero también para la acuicultura de agua dulce se encuentra la dirección de bosques, biodiversidad y servicios ecosistémicos de este mismo ministerio, el cual tiene competencia en las aguas continentales, es decir, el agua dulce.

Autoridad Nacional De Licencias Ambientales-ANLA-

Conforme al decreto 1076 de 2015, artículo 2.2.2.3.2.2, esta autoridad tiene la facultad para aprobar o negar las licencias para ciertos tipos de proyectos, obras, o actividades y, específicamente en materia de acuicultura se debe realizar un pronunciamiento sobre alguna introducción que vaya a realizarse de especies foráneas con fines de cultivos que puedan afectar ecosistemas o vida silvestre; de igual manera -ANLA- regula la interacción de la acuicultura con cuerpos de agua como embalses.

Otros Entes Reguladores

Existen otros entes que se encargan de regular la actividad acuícola en Colombia, todos permiten una participación por parte de los acuicultores para las normativas, y permiten mayor claridad en la

legislación de la actividad económica, entre estos entes se destacan: Federación Colombiana de Acuicultores -FEDEACUA-, Asociación Nacional de Acuicultores de Colombia -ACUANAL-, Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos -INVIMA-, Ministerio de salud y protección social, ministerio de ciencia, tecnologías e innovación; la dirección general marítima y portuaria, institutos de investigación científica, corporaciones autónomas regionales y corporaciones para el desarrollo sostenible, el banco agrario, el fondo para el financiamiento del sector agropecuario -FINAGRO-, la agencia de desarrollo rural, la unidad de planificación rural agropecuaria, instituto colombiano agropecuario.

Marco Legal

Según (Jaramillo et al., 2021) se puede concebir un marco legal teniendo en cuenta en primera medida la constitución política colombiana para posterior dividir las normativas en leyes y decretos con fuerza de ley, decretos reglamentarios y resoluciones.

Leyes y Decretos

Se presenta a continuación los decretos y leyes concernientes a la protección del recurso hídrico en la acuicultura:

- Decreto Ley 2811 de 1974, por el cual se dicta el código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente.

- Ley 9 de 1979, por la cual se dictan medidas sanitarias.

- Decreto 561 de 1984, por el cual se reglamenta la ley 09 de 1979 en cuanto a captura, procesamiento, transporte y expendio de los productos de la pesca.

- Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio de Ambiente, organiza el Sistema Nacional Ambiental y define el ordenamiento ambiental territorial.

- Ley 101 de 1993, por medio de la cual se modifica la Ley 101 de 1993, se crean las organizaciones de cadenas en el sector agropecuario, pesquero, forestal, acuícola, las Sociedades Agrarias de Transformación, SAT, y se dictan otras disposiciones.

- Decreto 1681 de 1978, por el cual se reglamentan la parte X del libro II del Decreto Ley 2811 de 1974 que trata de los recursos hidrobiológicos, y parcialmente la Ley 23 de 1973 y el Decreto- Ley 376 de 1957.

-Decreto 60 de 2002, por el cual se promueve la aplicación del Sistema de Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico - HACCP en las fábricas de alimentos y se reglamenta el proceso de certificación.

-Decreto 3930 de 2010, por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones”.

-Decreto Único 1071 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural.

Resoluciones

Las resoluciones contempladas en la acuicultura se presenten del siguiente modo:

-Resolución 730 de 1998 - Ministerio de Salud, por la cual se adopta el Sistema de Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control – HACCP, en los productos pesqueros y acuícolas para consumo humano, de exportación e importación.

-Resolución 676 de 2007 - Min Agricultura, Por la cual se establece el reglamento técnico de emergencia a través del cual se adopta el Plan Nacional de Control de Residuos de Medicamentos Veterinarios y otras Sustancias Químicas 2007 que deben cumplir los productos acuícolas para consumo humano y se dictan otras disposiciones.

-Resolución 468 de 2012 – Min Salud, por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir las motonaves o buques dedicados a la captura, congelamiento, o procesamiento de productos de la pesca y sus derivados y el procedimiento para la certificación del Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control – HACCP en motonaves o buques pesqueros con destino a la Unión Europea.

Proceso Productivo de la Acuicultura en Colombia

El proceso productivo de la acuicultura en Colombia involucra varias etapas, desde la preparación inicial del ambiente de cultivo hasta la cosecha y procesamiento final de las especies acuáticas cultivadas. Aquí hay una descripción general del proceso de producción:

-Selección y reproducción de reproductores o Desove: los reproductores de alta calidad (peces o mariscos adultos maduros) se seleccionan en función de las características deseables, como la tasa de crecimiento, la resistencia a enfermedades y la demanda del mercado. Los reproductores se manejan

cuidadosamente y se mantienen en ambientes controlados para estimular la reproducción. Dependiendo de la especie, la crianza puede involucrar desove natural o técnicas de reproducción inducida. (FAO, 2017)

En el caso de la reproducción natural se juntan machos con hembras en un estanque pequeño o una zona cerrada, para mayor éxito se controlan las condiciones del estanque donde se realiza la reproducción. Para la reproducción semiartificial se inyecta ciertas sustancias a las hembras para inducir al desove, luego de esto se junta junto a los machos en un estanque. En la reproducción artificial se inyecta varias sustancias en las hembras para que maduren sus huevos y luego se fertilizan artificialmente con esperma del pez macho; los huevos fertilizados son criados en condiciones controladas. (FAO, 2017)

-Operaciones de incubación y reversión sexual: una vez que los reproductores producen huevos o larvas, se recolectan y transfieren a una instalación de incubación. En la incubadora, se mantienen las condiciones óptimas del agua y los huevos/larvas reciben alimentos adecuados para promover el crecimiento. Los operadores de los criaderos controlan los parámetros de calidad del agua y se aseguran de que las larvas reciban una nutrición con alto nivel de proteínas, fabricado en harina, hormonas en polvo, todo esto con una granulometría adecuada para alimentar los alevines y realizar su reversión sexual que consiste en transformar las crías que puedan ser hembras en machos funcionales, esto para evitar la reproducción en otros estanques y aumentar la producción ya que en su mayoría los peces machos son de mayor tamaño y peso. (Hurtado, 2005)

-Cría en vivero o Levante: los peces o mariscos juveniles se transfieren luego a tanques o estanques de crianza, donde continúan creciendo y desarrollándose en condiciones controladas. La fase de vivero se enfoca en optimizar la alimentación y la nutrición, así como en monitorear la calidad del agua para asegurar tasas óptimas de crecimiento y supervivencia. (Moreno et al., 2011)

-Fase de crecimiento o Engorde: después de la etapa de vivero, los peces o mariscos se transfieren a instalaciones de crecimiento más grandes, como estanques, jaulas o tanques. Aquí, se crían al tamaño del mercado utilizando alimentos y estrategias de alimentación apropiados. Los parámetros de calidad del agua se controlan de cerca y se implementan medidas de prevención de enfermedades. La duración de la fase de engorde varía según la especie y los requisitos del mercado. (Martínez Covaleta & González Rodríguez, 2005)

-Recolección y procesamiento: cuando los peces o mariscos alcanzan el tamaño deseado, se recolectan utilizando métodos apropiados, como redes de cerco, redes o drenaje de estanques. Las especies acuáticas recolectadas se transportan a las instalaciones de procesamiento donde se limpian, clasifican y preparan para el mercado. El procesamiento puede implicar tareas como el fileteado, la

congelación, el enlatado o el envasado, según el producto y la demanda del mercado. (Martínez Covaleta & González Rodríguez, 2005).

Diferencias De La Acuicultura Entre Colombia Y El Resto Del Mundo

En la selección de las especies de cultivo, Colombia tiene un enfoque significativo en la producción de tilapia, mientras que otros países pueden priorizar especies como el salmón, el camarón, la trucha o las ostras en función de sus recursos naturales y oportunidades de mercado. (FAO, 2022)

Diferentes países pueden emplear varios sistemas de cultivo dependiendo de sus características geográficas y recursos disponibles. Por ejemplo, la industria acuícola de Colombia abarca tanto la producción marina como la de agua dulce, utilizando estanques, reservorios, jaulas y granjas marinas. Por el contrario, los países con costas extensas pueden centrarse predominantemente en la acuicultura marina, utilizando jaulas en alta mar o corrales marinos. (FAO, 2022)

Cada país tiene su propio clima, recursos hídricos y condiciones ambientales que influyen en la producción acuícola. Por ejemplo, la diversidad geográfica y climática de Colombia permite el cultivo de especies en diferentes regiones, tanto en ambientes tropicales como templados. Otros países con climas más fríos pueden requerir infraestructura y tecnologías adicionales para mantener la temperatura del agua adecuada para las especies elegidas. (FAO, 2022)

Los marcos regulatorios que rigen la acuicultura pueden variar entre países, lo que afecta las prácticas de producción y el desarrollo de la industria. Colombia ha implementado regulaciones y políticas específicas para apoyar el crecimiento sostenible de la acuicultura, incluido el Plan Nacional de Desarrollo de la Acuicultura. Otros países pueden tener su propio conjunto de regulaciones, permisos y requisitos de licencia que los agricultores deben cumplir, lo que puede afectar el proceso de producción.

El nivel de investigación, adopción de tecnología e innovación en la acuicultura puede diferir entre países. Colombia ha invertido en centros e institutos de investigación para apoyar los avances tecnológicos y la transferencia de conocimientos dentro de la industria. Otros países pueden tener sus propias instituciones de investigación, que pueden centrarse en diferentes áreas del desarrollo de la acuicultura, lo que lleva a variaciones en las prácticas y técnicas de producción.

La producción acuícola a menudo está impulsada por la demanda del mercado, y los países pueden priorizar diferentes mercados en función de factores como la proximidad, los acuerdos comerciales y las preferencias de los consumidores. Colombia ha estado exportando activamente productos acuícolas a los mercados internacionales, incluidos los Estados Unidos, la Unión Europea y los países vecinos de América

Latina. Otros países pueden tener sus propios mercados de exportación establecidos o pueden centrarse principalmente en satisfacer la demanda interna.

Metodología

Se tiene una metodología cualitativa debido a que se basa únicamente en la revisión documental de documentos pertinentes a la temática, proyectos, informes, análisis ya ejecutados por otras personas que serán recopilados en el presente trabajo para cumplir con los respectivos objetivos propuestos en la mayor totalidad posible.

Tabla 4. Metodología.

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
-Describir cualitativamente el proceso productivo de la acuicultura en el departamento del Meta conociendo el tipo de contaminantes que generan en el agua.	Análisis documental por investigación cualitativa	Investigación documental de empresas acuícolas en el departamento del Meta, Colombia; priorizando procesos productivos.	Investigador Markvander Eyck López Torres
Investigar de forma cualitativa las metodologías de gestión de contaminantes del agua en la industria de la acuicultura en el departamento del Meta.	Análisis documental por investigación cualitativa.	Investigación de planes ambientales, proyectos, informes de gestión de contaminantes realizados a cultivos acuícolas en el departamento Meta, Colombia.	Investigador Markvander Eyck López Torres
-Indicar un sistema de manejo y tratamiento de agua residual para la acuicultura en el departamento del Meta.	Análisis comparativo multicriterio concluyente.	En base al estado del arte, indicar cual tecnología o sistema de tratamiento es más óptimo para los cultivos analizados.	Investigador Markvander Eyck López Torres

Desarrollo

Estación Piscícola La Terraza

Se encuentra en el casco urbano de Villavicencio, Meta al margen izquierdo del río Guatiquia; limita al norte con el club Los Llaneros, al oriente con el hospital regional, al occidente con el caño El Maizaro, y al sur con el barrio siete de agosto. (Cabrera, 2011)

Esta estación cuenta con 2.7 hectáreas por área total donde 6000 m² son espejos de agua, se abastece del caño El Maizaro el cual le proporciona un flujo de agua de 90 litros por segundo lo que abastece 34 estanques. Cuenta con un área de reproducción de 5 piletas circulares, 2 rectangulares, 10 incubadoras y 5 acuarios. Y estanques de producción de peces de consumo.

Contaminantes Producidos

Realizan fumigación con METIL-PARATION con dosis de 0.5 ml/m² diluido en 6 litros de agua por 12 horas en el estanque para después realizar el recambio de agua; un proceso que se repetía cada 12 días. (Cabrera, 2011)

En la fertilización, al cuarto día después de la fumigación se agregaba el compuesto llamado TRIPLE 15 con dosis de 10 gr/m², y UREA AGRICOLA con dosis de 4 gr/m². (Cabrera, 2011)

Gestión De Contaminantes

Realizan recambios de agua, pero se desconoce si esta agua residual pasa por un tratamiento de vertimientos por lo cual se asume que no.

Parámetros Físicoquímicos

Según propone (Cabrera, 2011) la estación realiza muestreos diariamente obteniendo la siguiente información:

Temperatura: varía entre los 22 y 26 °C

pH: varía entre los 6.5 y 7.5.

Conductividad: 165 μS.

Dureza: 148 mg/L.

Alcalinidad: 56 mg/L.

Turbidez: cristalina.

Análisis Del Cultivo Y Recomendaciones

Esta estación piscícola cuenta con área de incubación, alevinaje en buenas condiciones junto con sus laboratorios, pero es preocupante que en la etapa de engorde se utilizan estanques de tierra sin recubrimiento alguno, también realizan fumigaciones periódicas junto con fertilizaciones lo cual agrega una carga contaminante al agua del cultivo la cual vierten al realizar los recambios, pero se desconoce sobre el tratamiento de estos vertimientos.

Se recomienda en primera medida realizar recubrimientos en las paredes y suelos de los estanques, con un suelo inclinado hacia una cámara de sedimentación por donde pueden irse los excesos de alimentos y demasiado solidos suspendidos que se decanten, posteriormente instalar los sistemas de filtrado tanto mecánico como los biofiltros, la aireación también es vital para el cultivo, por ultimo realizar la recirculación al cultivo mediante una bomba de agua para evitar los recambios de agua tan periódicos. Se estima que este proceso mejore la calidad del agua y reduzca la necesidad de fumigación del cultivo lo cual genere un pez más sano, con menos químicos y también reduzca la carga financiera que este proceso de fumigado representa.

Finca La Esperanza Y Finca El Arenal

Ambas fincas son colindantes y están ubicadas en el casco rural de Villavicencio, Meta, Colombia, cerca al caño Colorado de donde realizan la captación de agua para sus procesos piscícolas los cuales son convencionales con estanques en tierra de 500 m² hasta 10 mil m² con una profundidad de 3 metros disponiendo de una red de drenaje para realizar vertimiento en el rio Ocoa o el caño La Unión mediante tubería de 6 pulgadas, el mismo tipo de tubería que se utiliza para el llenado de los estanques. (Gil, 2017)

Ambas fincas tienen un derecho de concesión para captar un flujo de agua de 250 L/s, entre las características del cultivo se tiene una densidad de 2-3 peces por metro cuadrado con una mortandad del 70%, un vertimiento continuo sin tratamiento. (Gil, 2017)

Contaminantes Producidos

No se posee información del tipo de alimentación, fertilizante o uso de fumigantes, por lo cual se supone una alimentación convencional, con posibles excesos de alimentos que se sedimentan y los contaminantes orgánicos que producen los peces en sus procesos biológicos.

Gestión De Contaminantes

Se realiza un vertimiento continuo del agua haciendo que los contaminantes salgan de los cultivos hacia el vertimiento minimizando la afectación al cultivo, pero no se realiza tratamiento al vertimiento lo cual genera una carga contaminante al cuerpo de agua donde se es vertida esta agua residual.

Parámetros Fisicoquímicos

Se realiza mediciones en el cuerpo de agua de donde se toma el agua el cual es el Caño Colorado dando así los siguientes resultados:

Tabla5. Parámetros fisicoquímicos del Caño Colorado

Parámetro	pH	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura °C	Nitritos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Amonio (mg/L)
Valor	6,5-7	3,8-4,7	27	No detectable	No detectable	No detectable

Nota: Tomado de (Gil, 2017)

Para observar si estos parámetros son viables para el cultivo de tilapia roja a continuación se estima una tabla con parámetros recomendados.

Tabla 6. Calidad de agua para cultivo de tilapia roja.

Calidad Físico Química del agua para tilapia	
Parámetro	Valor aceptable
Solidos totales suspendidos	400 mg/L>

Tabla 6. Continuación

pH	6,5 a 9
Oxígeno disuelto	> 4,5 mg/L
Nitratos	3 mg/L >
Nitritos	1 - 2 mg/L
Amonio	2 - 5 mg/L
Temperatura	28 - 32 °C
Salinidad	0 - 35 mg/L

Nota: Tomado de (Gil, 2017)

Análisis Del Cultivo Y Recomendaciones

Se tiene una mortandad del 70% la cual es demasiado alta y preocupante ya que la productividad del cultivo es afectada enormemente, en base al estado del arte esta mortandad se puede deber al observar los parámetros físico químicos, se puede observar que el oxígeno disuelto se encuentra en un rango no óptimo para el cultivo de tilapia, por lo cual se recomiendan aireadores como prioridad.

El sistema de cultivo a implementar depende de muchos factores, sobre todo el factor financiero suele ser el decisivo pero en este caso se supondrá que no existe este limitante financiero sino que se buscará lo más óptimo para el cultivo, por lo cual se puede empezar por la instalación de aireadores y difusores, luego regular el flujo de agua que entra al cultivo y el agua que sale; posteriormente en el fondo de los estanques realizar una pendiente que en su punto más bajo se encuentre la cámara de sedimentación y tanto el suelo como las paredes de los estanques deben contar con recubrimiento de geotextiles para evitar relaciones multitróficas no deseadas entre los microorganismos del suelo y el agua; posteriormente realizar los sistemas de filtración tanto mecánica como biofiltración para al final recircular el agua mediante una bomba hasta el inicio donde se considera pertinente realizarlo a cierta altura para producir una especie de cascada la cual aumenta el oxígeno disuelto del agua; este proceso se recomienda realizarlo por cada estanque individualmente y no conectarlo por redes para evitar que el sistema tenga pérdidas de energía y se colmate.

Cultivos En El Municipio De Castilla La Nueva

En el artículo de (Pardo Carrasco et al., 2010) se evidencia una caracterización de los cultivos en el municipio de Castilla La Nueva, en donde la mayoría de estos utilizan sistemas semi intensivos e intensivos, pero carecen de tratamientos en la calidad del agua.

Contaminantes Producidos

En este municipio algunos cultivos utilizan azul de metileno y verde de malaquita, esta última sustancia se considera peligrosa, es un biocida que controla los protozoarios e infecciones fúngicas, pero tiene altos riesgos a la salud del consumidor, es genotóxico y carcinogénico.

El resto de contaminantes son los propios de la actividad biológica de los peces, por otra parte, en la captación de la vereda Cacayal, se localizan estaciones de ECOPETROL S.A que realizan vertimientos al cuerpo de agua de donde se alimentan cultivos de peces, por lo cual se encuentra una alta posibilidad de existencia de contaminantes nocivos a la salud humana y del cultivo.

Gestión De Contaminantes

La gestión que realizan son los recambios de agua para mantener el oxígeno disuelto y la temperatura del cultivo, pero no se realiza tratamiento del agua del cultivo ni del agua residual de este.

Parámetros Fisicoquímicos

No se cuenta con estudios de análisis de calidad de agua.

Análisis Del Cultivo Y Recomendaciones

En primera medida es necesario observar dos factores claves, el primero, el año del artículo de esta información es el 2010, por lo cual es imperativo saber que existe una desactualización en la información, y es posible que haya cambiado a través del tiempo, pero la problemática de la contaminación del afluente de agua por parte de ECOPETROL S.A se ha mantenido a través del tiempo, según (Sánchez, 2019). Por otra parte, la información concerniente no es de un solo cultivo sino de todos

los cultivos de un municipio; teniendo esto en cuenta se recomienda que los cultivos que aún a través del tiempo sigan sin tratamiento de agua como lo evidencia (Pardo Carrasco et al., 2010) deben empezar a optar por sistemas de cultivo cerrados ya que estos reducen la cantidad de agua que deben captar ya que la captación se encuentra contaminada, lo cual lleva a la segunda recomendación y es buscar la manera de que alguna entidad ambiental regule esta contaminación de ECOPETROL S.A ya que se evidencia el consumo de agua de este afluente contaminado, lo cual atenta contra la salud pública.

Cultivo De Peces Ornamentales En La Cooperativa COOPESCA Acacías, Meta

Se realiza un estudio experimental donde cultivan 210 peces de las especies gourami azul (*Trichogaster trichopterus*), gourami perla (*Trichogaster leeri*), betta (*Betta splendens*) y escalar (*Pterophyllum scalare*), y se realizó durante todo el ciclo de vida de las especies que es de 5 meses. (Parada-Guevara et al., 2012).

Contaminantes Producidos

No se da a conocer el uso de algún químico o fertilizante, por lo cual se supone solamente la carga contaminante de los desechos orgánicos propios de los peces y su alimentación, tuvo un porcentaje de supervivencia de 60%.

Gestión De Contaminantes

Realizan sifoneo semanal, lo que significa que vacían los estanques por succión desde la parte inferior retirando así partículas decantadas, y reducir la contaminación, pero no se presencia el tratamiento del agua residual ni el lugar de disposición del vertimiento.

Parámetros Fisicoquímicos

Se tuvo un pH de 7.1 con conductividad de 49.5 uS, el color del agua se conservó verde claro, las variables se mantuvieron óptimas para el cultivo de esta especie.

Análisis Del Cultivo Y Recomendaciones

Se tiene una mortandad de 40% a pesar de que afirman cumplir con los parámetros fisicoquímicos, esto podría deberse de acuerdo al estado del arte a que el sifoneo no elimina microorganismos suspendidos en el agua que se pueden adherir a los peces, aunque solo es una conjetura, se recomienda realizar más procesos de mejoramiento de calidad del agua, como también puede influir en la gran medida la aireación, y por último, realizar un tratamiento mínimo al agua residual para reducir la contaminación al realizar el vertimiento.

Sistemas De Producción Familiares Rurales En Acacías Meta

Se realiza una caracterización de 6 cultivos que se manejan con sistemas tradicionales de estanques, 2 cultivos son de cachama, 3 de tilapia y 1 de peces ornamentales. (Perales, 2019)

Contaminantes Producidos

Se presencia en los cultivos solamente la carga orgánica de los procesos biológicos de los peces y la decantación del alimento de exceso.

Gestión De Contaminantes

En estos cultivos realizan vaciado completo de los estanques y realizan el vertimiento sin algún tratamiento, y de la misma manera realizan la captación.

Parámetros Fisicoquímicos

Solo 1 de los 6 cultivos contaba con equipo de medición, el resto miden el agua de forma empírica, es decir, basándose en las propiedades organolépticas, por lo cual no se dispone de los parámetros.

Análisis Del Cultivo Y Recomendaciones

Se recomienda implementar mediciones en el agua y tratamiento durante el cultivo para aumentar el porcentaje de supervivencia y la productividad, pero por tratarse de cultivos familiares puede ser un limitante el factor financiero, para lo cual se podría optar por sistemas con bioflocs, biorremediación o fitorremediación, pero se debe priorizar la aplicación de algún tratamiento incluso en el agua residual.

Cultivo De Cachama Blanca En Jaulas Flotantes En Puerto Gaitán, Meta

Las jaulas se ubican en el río Manacacias, Puerto Gaitán, Meta, en un punto llamado ensenada Soplaviento utilizando juveniles de cachama blanca con peso promedio de 4.92 gramos y longitud de 6.8 cm. (Barrera et al., 2021).

Contaminantes Producidos

Los desechos orgánicos de los procesos biológicos del pez y el alimento que no sea captado.

Gestión De Contaminantes

Como se realiza en jaulas flotantes sobre un río, todos los desechos son vertidos directamente a este cuerpo de agua, lo que aumenta la carga orgánica aguas abajo dependiendo de la cantidad de peces cultivados.

Parámetros Fisicoquímicos

No se registran en el cultivo.

Análisis Del Cultivo Y Recomendaciones

Al tratarse de un cultivo en un cuerpo de agua se recomienda la fitorremediación o biorremediación en las orillas del río aguas abajo del cultivo para disminuir la carga orgánica producida, y

en lo posible cambiar este sistema a uno de estanques que permita mayor tratamiento y control para que la actividad sea más sostenible.

Sistema de Manejo de Agua Recomendado

En primera instancia es necesario saber que el solo proceso biológico y la alimentación de los peces generan residuos sólidos en el agua, lo que hace necesario tener una zona de estanque de sedimentación, según (Pardo et al., 2006), por lo cual se considera que los cultivos realizados directamente en los cuerpos de agua son de difícil manejo de estos residuos ya que por el flujo de agua son transportados por todo el afluente, por ello se recomienda que todo proceso productivo de acuicultura se realiza en estanques fuera de los cuerpos de agua.

Para estos estanques se tienen diversas tecnologías, pero de estas sobresale los sistemas de recirculación cerrados, ya que las demás tecnologías como por ejemplo la biorremediación (Lopes et al., 2021), los bioflocs (Mancipe et al., 2019), y la fitorremediación (López et al., 2004) tienen en común la problemática de que no permiten un control exacto en la calidad del agua ya que los parámetros varían constantemente y consumen el oxígeno disuelto realizando una mayor demanda de este en el cultivo, dejando a los sistemas de recirculación cerrados como un excelente sistema de manejo de agua en la acuicultura, ya que según (Kubitza, 2006) permite un gran control en cada uno de los parámetros de calidad de agua, garantiza que estos se mantengan en niveles óptimos y reduce el consumo del recurso hídrico en el cultivo. Según este mismo autor, estos sistemas de recirculación de agua consisten en: Aireadores, que permiten mantener el oxígeno disuelto en rangos óptimos para el cultivo, biofiltros que transforman los residuos biológicos en sustancias no contaminantes, un filtrado mecánico que se recomienda ir en conjunto con los estanques de sedimentación de (Pardo et al., 2006), para reducir los sólidos suspendidos y evitar la eutrofización (Agudelo & García., 2021); por último, (Kubitza, 2006) propone una zona de cuarentena para peces enfermos y un mecanismo de bombeo de agua para hacer retornar el agua ya tratada al cultivo, y de este modo reducir la necesidad de recambio de agua.

Los sistemas de recirculación de agua también permiten integrar la acuaponía (Gutiérrez, 2012) y la acuicultura multitrófica integrada (García, 2012), ya que se puede dejar el fluir el agua usada por los peces mediante cultivos de acuaponía o especies multitróficas para que estos se alimenten de la carga orgánica; después de que el agua fluya por este sistema volvería al biofiltro y seguiría el proceso de recirculación del cultivo de peces.

Resultados E Impacto

En ninguna de los cultivos analizados se presentó tratamiento en el agua residual, y la gestión de contaminantes se reducía únicamente a recambios de agua, lo cual demuestra la importancia de mayor investigación en el departamento Meta sobre la aplicabilidad de tecnologías más sostenibles y seguras. Existe poco avance tecnológico en los cultivos ya que según (SEPEC, 2020) la gran mayoría de los cultivos en Colombia son cultivos de subsistencia familiares, es decir, se utilizan para generar el propio alimento que van a consumir, pese a que según (SEPEC, 2020) indica que existen 157 unidades productoras activas en el departamento del Meta, los registros bibliográficos de estas son muy escasos, lo que también demuestra una necesidad en generar investigación y aplicarla en los cultivos del departamento.

Tabla 7. Cultivos en el departamento del Meta.

Cultivo	Gestión de contaminantes	Tratamiento de agua residual	Uso de químicos y/o fertilizantes	Tipo de cultivo
Estación piscícola La Terraza, Villavicencio, Meta	Recambios de agua	No	METIL PARATION y TRIPLE 15	Estanque
Finca La Esperanza, Villavicencio, Meta	Recambios de agua	No	No	Estanque
Finca El Arenal, Villavicencio, Meta	Recambios de agua	No	No	Estanque
Cultivos en el Municipio de Castilla La Nueva	Recambios de agua	No	Azul de metileno y Verde de malaquita	Estanque
Cultivo en Coopesca Acacías, Meta	Sifoneo	No	No	Estanque
Cultivos Familiares Rurales en Acacías, Meta	Recambios de agua	No	No	Estanque
Cultivo en Puerto Gaitán, Meta	Ninguno	No	No	En río

Nota: Elaborado en base a la información del capítulo Desarrollo

Conclusiones

Se puede concluir que para realizar el manejo de las aguas residuales en la acuicultura se necesita un tratamiento de agua, y no solo en el agua residual sino también en el agua en donde se mantienen los peces, ya que esta no puede exceder ciertos parámetros físico-químicos; la acuicultura tradicional realiza la captación de agua, la utiliza cierto tiempo en el cultivo, y la desecha ya contaminada a cuerpos de agua, lo cual se considera hoy en día según la legislatura ambiental como algo indebido, insostenible que atenta contra el medio ambiente, pero para solucionar este problema no basta con determinar un manejo al agua residual sino también buscar una forma de disminuir la captación de agua, ya que estos factores están altamente relacionados y son simultáneos, se captan y se desechan grandes cantidades de agua y de manera indefinida, por lo cual proponer el tratamiento de las aguas residuales incurriría en incrementar de enorme manera los costes de producción; este es el motivo de la lenta evolución hacia una acuicultura sostenible, y a pesar de que en algunos intentos de los acuicultores por reducir este impacto realizan jaulas, estanques en cuerpos de agua naturales desarrollando ahí su cultivo, evitando la toma de agua pero continuando la problemática de los desechos orgánicos de los cultivos al agua; por lo anterior se proponen los siguientes sistemas de tratamiento de agua priorizando la productividad de los cultivos.

En Cultivos Que Se Realicen En Cuerpos De Agua Naturales Sin Captación

En este tipo de cultivos que son de cierta manera más económicos y simplificados se recomienda utilizar biorremediación, fitorremediación, es decir, utilizar tanto microorganismos como plantas que se encarguen esencialmente de realizar la desnitrificación del agua, ya que los compuestos nitrogenados son el principal contaminante del agua en la acuicultura, pero sin olvidar los demás parámetros físico químicos. Este sistema tiene la desventaja de que es difícil realizar las mediciones de los parámetros del agua, entorpeciendo el control y manejo, por lo cual el cultivo no se puede garantizar cierta mortalidad o calidad por lo que se puede concluir que es un sistema de cultivo que depende de los factores ambientales.

En Cultivos Que Realicen Captación De Agua

Son estos cultivos aquellos que realizan una toma de agua para alimentar algún estanque artificial y posteriormente realizan el desecho del recurso al medio del que fue tomado. Para estos cultivos también se puede incluir la biorremediación, fitorremediación, pero es necesario tener en cuenta que estas

especies consumen oxígeno disuelto del agua, por lo cual, al ser un estanque con un flujo controlado de agua, el oxígeno empieza a disminuir provocando altas tasas de mortalidad; por ello en estos cultivos es de vital importancia el uso de equipos de tratamiento de agua como lo son los aireadores, biofiltros, filtros mecánicos, estanques de sedimentación, entre otros; permitiendo un alto control y manejo de los parámetros del agua en este sistema, ahora bien, si se incluye la biorremediación o fitorremediación, a parte de la elevación en el consumo de oxígeno disuelto también ocurre la dificultad de medición de parámetros debido a que el agua se encuentra en constantes procesos químicos por los microorganismos o las plantas, por lo cual, se descarta estas dos técnicas y se opta por los sistemas de recirculación de agua, y se habla de recirculación porque debido a estos equipos de tratamiento el agua queda en óptimas condiciones para ser usada nuevamente por lo que no es necesario desecharla y se reduce en enorme medida la captación de agua lo cual mejora la conservación de los cuerpos de agua; si bien, todavía se puede optar por sistemas de circulación de agua donde se continua la captación y el desecho es de un agua ya tratada mediantemente no se considera del todo viable ya que no se tiene control de los parámetros del agua al momento de ser captada, por lo que el cultivo dependería de este factor, caso contrario a los sistemas de recirculación, donde el agua que entra es la misma que fue tratada, y se conoce el tratamiento y los parámetros de estas, permitiendo máximo control y manejo. Por otra parte, si se desea realizar una economía circular, se contempla también la posibilidad de sistemas de recirculación con hidroponía, que consiste en situar un cultivo hidropónico que aproveche los nutrientes que desechan los peces antes de que el agua vuelva a recircular y posterior al tratamiento para evitar daños al componente hidropónico.

Referencias

- Acuicultura, A. V. (2020). *Agua Verde Acuicultura*. aguaverdeacuicultura.com.
<http://www.aguaverdeacuicultura.com/en-us/>
- Agudelo, L. J. C., & García, J. P. (2021). Manejo integral de pequeños sistemas productivos de tilapia. Editorial CES.
- Ahne, W. (1994). Viral infections of aquatic animals with special reference to Asian aquaculture. *Annual Review of Fish Diseases*, 4, 357–388. [https://doi.org/10.1016%2F0959-8030\(94\)90036-1](https://doi.org/10.1016%2F0959-8030(94)90036-1)
- Algaeba. (2020). *Información general de Company Algaeba*. algaeba.com.
<https://www.algaeba.com/company/>
- Barrera, J. A. C., Guevara, S. L. P., Pacheco, R. M., & Merlano, J. A. R. (2021). Parámetros productivos del cultivo de cachama blanca *Piaractus orinoquensis*, en jaulas flotantes. *Revista Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales Actualidad y Divulgación Científica*, 24(2). 1-8.
<http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v24n2/2619-2551-rudca-24-02-e2068.pdf>
- Barrera, N. H. T., & Rincón, I. A. G. (2017). Estimación de los desperdicios generados por la producción de trucha arcoíris en el lago de tota, Colombia. *Ciencia y tecnología agropecuaria*, 18(55), 247-255.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num2_art:631
- Bernal Gil, F. D. (2017). *Diseño de una propuesta para el manejo y uso racional del agua en la etapa de engorde de un cultivo de tilapia roja (oreochromis aureus), en el municipio de Villavicencio – Meta* [Trabajo de grado, Universidad la Salle]. Repositorio.
https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/740/
- Botero, P. (2020). *Producción. Piscícola*. botero.com.co. <https://www.botero.com.co/produccion.php>
- Cabrera, C. J. M. (2011). Prácticas profesionales adicionales estación piscícola “la terraza” Villavicencio – meta & laboratorio de ictiología [Trabajo de grado, Universidad del Magdalena]. Repositorio.
<https://core.ac.uk/download/pdf/270126427.pdf>
- Calvachi, G. L. C., & Ortiz, I. A. S. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Universidad y Salud*, 15(1), 72–88.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=S0124-71072013000100007&Ing=en&tIng=es
- Carrera-Quintana, S. C., Gentile, P., & Giron-Hernandez, J. (2022). An overview on the aquaculture development in Colombia: Current status, opportunities and challenges. *Aquaculture*, 561, 9.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738583>

- Castro Mendoza, I. (2013). Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 34(2), 3–16.
<http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v34n2/riha01213.pdf>
- Centro de Investigación de la Acuicultura en Colombia (Ceniacua). (2019). *Servicios de Ceniacua*. [ceniacua.org](https://www.ceniacua.org/). <https://www.ceniacua.org/>
- Cermaq. (2020). *Producción: Desde la ova al plato*. [cermaq.cl](https://www.cermaq.cl/produccion/desde-la-ova-al-plato). <https://www.cermaq.cl/produccion/desde-la-ova-al-plato>
- García, J. (2012). *Acuicultura multitrófica integrada*. Xunta de Galicia Consellería do medio rural e do mar centro de investigación Mariñas. [mapa.gob.es](https://www.mapa.gob.es/eu/pesca/temas/acuicultura/amtiinteractivo_tcm35-77470.pdf)
https://www.mapa.gob.es/eu/pesca/temas/acuicultura/amtiinteractivo_tcm35-77470.pdf
- González Cueto, O; Iglesias Coronel, C. & Herrera Suárez, M. (2009). Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola. *Revista ciencias técnicas agropecuarias*, 18(2). 57-63.
<https://www.redalyc.org/pdf/932/93215937011.pdf>
- González, C. J. T., Moreno, V. M. L., Hernández, J. J. C., & Albino, J. M. F. (2016). Predicción de oxígeno disuelto en acuicultura semi-intensiva con redes neuronales artificiales. *Universidad autónoma del estado de México*, 120, 159–168.
https://rcs.cic.ipn.mx/2016_120/Prediccion%20de%20oxigeno%20disuelto%20en%20acuicultura%20semi-intensiva%20con%20redes%20neuronales%20artificiales.pdf
- Hurtado, N. T. (2005). Inversión sexual en tilapias. *Revista AquaTIC*. 1-43.
http://www.revistaaquatic.com/documentos/docs/nh_invsextilapia.pdf
- Ibáñez, J. J. (2007). *Ph el suelo* En. Componentes, estructuras y procesos en los suelos, los suelos las plantas y la vegetación. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/04/02/62776>
- Jaramillo, L., Acero, A., Forero, S., Muñoz, S., Angulo, J., Bonilla, S., Cuervo, L., Olaya, N., & Caldas, J. (2021). *Marco legal para la acuicultura en Colombia*. [conservation.org.co](https://www.conservation.org.co/media/Marco%20legal%20de%20la%20acuicultura%20en%20Colombia%20-%20web%20hojas%20individuales_compressed.pdf)
https://www.conservation.org.co/media/Marco%20legal%20de%20la%20acuicultura%20en%20Colombia%20-%20web%20hojas%20individuales_compressed.pdf
- Kibenge, F. S. B. (2019). Emerging viruses in aquaculture. *Current opinion in virology*, 34, 97–103.
<https://doi.org/10.1016/j.coviro.2018.12.008>
- Lopes, G. R., Soligo, T., Yamashita, E., Martins, M. L., Loss, A., & Mouriño, J. L. P. (2021). La biorremediación y sus beneficios a la producción acuícola y a los ambientes de cultivo. *Panorama acuícola*.
<https://panoramaacuicola.com/2021/09/12/la-biorremediacion-y-sus-beneficios-a-la-produccionacuicola-y-a-los-ambientes-de-cultivo/>

- López, R. A. N., Vong, Y. M., Borges, R. O., & Olgún, E. J. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Revista ciencia-academia mexicana de ciencias*, 55(3). 69-83.
https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/fitorremediacion.pdf
- Manciulea, I., & Dumitrescu, L. (2016). *Policloro dibenzo-dioxinas y policloro dibenzofuranos (pcdd/pcdf)*. moodle.toxoer.com
http://moodle.toxoer.com/pluginfile.php/3553/mod_page/content/1/u7_dioxinas_furanos%20spa.pdf
- Marrugo, J., Lans, E., & Benítez., L. (2007). Hallazgo de mercurio en peces de la ciénaga de Ayapel, córdoba, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 12(1), 878–886.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69312103>
- Martínez Covalada, H. J., & González Rodríguez, F. A. (2005). *La cadena de la piscicultura en Colombia*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Observatorio Agrocadenas Colombia.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/1259/45281_61816.pdf?sequence=1&i%20sallowed=y
- Martínez Moreno, O., Gómez Ramírez, E., & Hurtado Giraldo, H. (2011). Levante de goldfish (*carassius auratus*) en sistemas de recirculación cerrada. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*. 7(2). 260-273. <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/2058/1588>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Colombia (2021). *Acuicultura en Colombia, Cadena de Acuicultura. cifras sectoriales*: Dirección de Cadenas Pecuarias, Pesqueras y Acuícolas.
<https://sioc.minagricultura.gov.co/acuicultura/documentos/2021-06-30%20cifras%20sectoriales.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Colombia. (2020). *Caracterización de las unidades de producción de acuicultura inventariadas en la encuesta estructural desarrollada por el SEPEC durante el año 2020*. Sistema del Servicio Estadístico Pesquero Colombiano. (SEPEC).
<http://sepec.aunap.gov.co/home/verpdf/74>
- Muñoz Gutiérrez, M. E. (2012). Sistemas de recirculación acuapónico. *Informador técnico*, 76, 123.
<https://doi.org/10.23850/22565035.36>
- Nissui Group. (2020). *The Nissui group aquaculture business*. nissui.co.jp/
<https://www.nissui.co.jp/english/group/business/aquaculture.html>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2017). *La reproducción de los peces. Colección FAO Capacitación 21. Gestión de la piscicultura de agua dulce: granjas acuícolas y sus poblaciones de peces*, 09. fao.org.

- https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/x6709s01.htm
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2017). *Mejora de la calidad de agua en los estanques. Colección FAO capacitación 21 gestión de la piscicultura en agua dulce*. fao.org. https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/x6709s02.htm
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2017). Prevención y tratamiento de enfermedades de los peces. Colección FAO capacitación 21 gestión de la piscicultura en agua dulce, 15. fao.org. https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/x6709s15.htm
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2022). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. fao.org. <https://www.fao.org/documents/card/es?details=CC0461ES>
- Parada-Guevara, S. L., Virgüez-Parrado, A., & Cruz-Casallas, P. E. (2012). Experiencias sobre cultivo de peces ornamentales en la cooperativa Coopesca, Acacias - Meta. *Revista Orinoquia* 16(2), 248–255. <https://www.redalyc.org/pdf/896/89659212010.pdf>
- Pardo Carrasco, S. C., Suárez Mahecha, H., & Atencio García, V. (2010). Análisis a los sistemas de producción piscícola en el municipio de castilla la nueva (Colombia) y su problemática. *Revista facultad nacional de agronomía - Medellín*, 63(1), 5345–5353. <https://www.redalyc.org/pdf/1799/179914617012.pdf>
- Perales, A. M. G. (2019). Sostenibilidad ambiental en los sistemas de producción familiar rural con piscicultura, en el municipio de Acacias, Meta [Trabajo de grado, Universidad Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)]. Repositorio. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/25462>
- Prieto Méndez, J., González Ramírez, C. A., Román Gutiérrez, A. D., & Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 10(1), 29–44. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>
- Ramos, L. D., Guerrero, L. M., Tarradellas, J., Ferrary, M., & Rodríguez, L. (1989). Determinacion de bifenilos policlorados (bpc's) residual y plaguicidas organoclorados en peces comestibles de la bahia de la isla de utila. *Ecole polytechnique fédéral institut du genie de l'environnement ecotoxicologie*. http://www.miambiente.gob.hn/media/adjuntos/libroscscoco/none/2018-0613/18%3a20%3a34%2b00%3a00/04_det_bifenilos_policlorados.pdf

- Reguera, B., Alonso, R., Moreira, A., & Méndez, S. (2011). *Guía para el diseño y puesta en marcha de un plan de seguimiento de microalgas productoras de toxinas*. Unesco. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000214510>
- Rodríguez Sánchez, S. R. (2019). Sostenibilidad ambiental en los sistemas de producción familiar rural con piscicultura, en el municipio de castilla la Nueva, departamento del Meta [*Trabajo de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)*]. Repositorio. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/28327>
- Skretting. (2023). Esto es Skretting. skretting.com. <https://www.skretting.com/es-cl/this-is-skretting/>
- Tayupanta, J. R. (1993). *La erosión hídrica, procesos, factores y formas*. [Documento de Investigación, INIAP]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/271>
- Teresa Audicana, M., De Corres, L. F., Mufioz, D., Fernández, E., Navarro, J. A., & Del Pozo, M. D. (1995). Recurrent anaphylaxis caused by anisakis simplex parasitizing fish. *The journal of allerg*, 96(4), 558-560. [https://doi.org/10.1016/s0091-6749\(95\)70301-2](https://doi.org/10.1016/s0091-6749(95)70301-2)
- Thai Union Group. (2019). Products and brands. thaiunion.com. <https://www.thaiunion.com/en/products-and-brands/at-a-glance>
- Ugalde, R. E. (2013). *Sistemas de recirculación de agua para la acuicultura en el Estado de Hidalgo*. Memoria de ponencias think green Crecimiento verde, retos oportunidades para México. Tecnológico de Monterrey. <https://docplayer.es/14620088-Sistemas-de-recirculacion-de-agua-para-la-acuicultura-en-el-estado-de-hidalgo.html>
- Weinberg, J. (2007). *Introducción a la contaminación por mercurio para las ONG*. IPEN International PoPs Elimination Network. https://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen_mercury_booklet-es.pdf
- Yarto, M. R., Barrera, J., & Gavilan, A. (2003). Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes y sus implicaciones para México. *Gaceta ecológica*, 69, 7–28. <https://www.redalyc.org/pdf/539/53906901.pdf>