

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA
EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

**Efecto de tres cultivos comerciales de trucha arco iris, *Oncorhynchus mykiss*,
sobre la calidad del agua del río Siecha, en Guasca, Cundinamarca**

Adriana Alejandra Calcetero Barato

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ciencias y Tecnologías

Programa de Administración Ambiental y de los Recursos Naturales

Bogotá, D.C.

2022

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA
EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

**Efecto de tres cultivos comerciales de trucha arco iris, *Oncorhynchus mykiss*,
sobre la calidad del agua del río Siecha, en Guasca, Cundinamarca**

Adriana Alejandra Calcetero Barato

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título
de Administradora Ambiental y de los Recursos Naturales**

Tutor

**Julio Alberto González Acosta
Biol., Esp., MSc.**

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ciencias y Tecnologías

Programa de Administración Ambiental y de los Recursos Naturales

Bogotá, D.C.

2022

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA
EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

NOTA DE ACEPTACION

Julio Alberto González Acosta

Tutor

Jurado 1 Betsy Bello Novoa

Jurado 2 Paulo García Murillo

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA
EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Tabla de contenido

Tabla de contenido	4
Lista de tablas	6
Lista de figuras	7
Anexos.....	8
Resumen	9
Abstract	10
Introducción	11
Justificación.....	13
Planteamiento del problema.....	15
Objetivos	17
Objetivo general	17
Objetivos específicos	17
Marco Referencial	18
Impactos ambientales	25
Carbono Orgánico Total.....	29
Demanda biológica de oxígeno	30
Demanda química de oxígeno	30
Fosfatos	30
Oxígeno disuelto	30
Potencial de hidrógeno pH.....	31
Nitratos	31
Sulfatos.....	31

EFEECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA
EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Metodología	32
Segundo muestreo – época de verano	37
Discusión de resultados	41
Parámetros de calidad de agua	43
Carbono Orgánico Total COT.....	46
Potencial de hidrógeno (pH).....	48
Oxígeno disuelto OD.....	49
Sulfatos	53
Nitratos	54
Nitritos.....	55
Conclusiones	57
Recomendaciones.....	58
Referencias	59

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA
EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Lista de tablas

Tabla 1. Morfometría del río Siecha, en Guasca, Cundinamarca.	20
Tabla 2. Principales parámetros del agua para el cultivo de truchas.	22
Tabla 3. Matriz de impactos sobre el Recurso hídrico.	26
Tabla 4. Ubicación georreferenciada de las tres fincas productoras de trucha	33
Tabla 5. Resultados en invierno, finca El Rocío.	35
Tabla 6. Resultados en invierno, finca Villa del Río.	36
Tabla 7. Resultados en verano finca El Pedregal.	40
Tabla 8. Valor Índice de riesgo para la calidad agua potable.	42

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA
EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Lista de figuras

Figura 1. Mapa geográfico Guasca.....	18
Figura 2. Zonificación Río Siecha.....	19 Error! Bookmark not defined.
Figura 3. Resultados en invierno, Finca El Rocío... ..	33
Figura 4. Resultados en invierno, Finca Villa del Río.....	34
Figura 5. Resultados en invierno, finca El Pedregal.....	35
Figura 6. Resultados en verano, finca El Rocío.....	36
Figura 7. Resultados en verano, Finca Villa del Río.....	37
Figura 8. Resultados en verano, finca El Pedregal.....	38
Figura 9. Mapa Indice de vulnerabilidad ambiental.....	39

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA
EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Anexos

Anexo 1. Zona de afluente de la finca El Rocío, río Siecha.....	64
Anexo 1. Zona del afluente de la finca Villa del Río, río Siecha.....	65
Anexo 2. Zona del afluente de la finca El Pedregal, río Siecha.....	65
Anexo 3. Manejo y rotulado de las muestras de agua.....	66
Anexo 4. Embalaje final de las muestras de agua, en bolsa oscura y nevera.....	67

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Resumen

La presente investigación trata sobre la calidad de agua procedente de las fincas truchícolas, se realizaron comparaciones entre las dos épocas estacionarias sobre el afluente y el efluente de cada finca, sobre el río Siecha, señalando los cambios significativos.

La preservación de los ríos nacientes en el ecosistema de Bosque Alto Andino, del cual se obtiene el sistema de riego, es el principal recurso para la agricultura y el desarrollo de la acuicultura, entre otras actividades.

Con base en las muestras de agua obtenidas en los puntos de muestreo, se pudo comparar los resultados para la época de verano e invierno e identificar en este caso, los posibles impactos que genera la actividad comercial del cultivo de truchas.

Al comparar la calidad de agua en los diferentes parámetros, entre el afluente de la granja de mayor altitud y el efluente de la granja de menor altitud, se pudo demostrar que el manejo de la materia orgánica es adecuado, lo cual se puede relacionarse con el adecuado diseño y funcionamiento de las lagunas de oxidación de las tres fincas. Los fosfatos presentaron tendencia al aumento, como algo inherente al proceso productivo de peces, pero en general los demás parámetros no presentaron grandes diferencias.

Al identificar los impactos sobre los efluentes que llagan al río Siecha, se proponen medidas de mitigación sobre las evidencias halladas.

Palabras clave: truchicultura, río andino, calidad de agua.

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA
EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Abstract

This research deals with the quality of water from trout farms, comparisons were made between the two stationary seasons on the tributary and effluent of each farm, on the Siecha river, indicating significant changes.

The preservation of the nascent rivers in the high andean forest ecosystem, from which the irrigation system is obtained, is the main resource for agriculture and aquaculture development, among other activities.

Based on the water samples obtained at the sampling points, it was possible to compare the results for the summer and winter seasons and identify, in this case, the possible impacts generated by the commercial activity of trout farming.

When comparing the water quality in the different parameters, between the tributary of the higher altitude farm and the effluent of the lower altitude farm, it was possible to demonstrate that the management of organic matter is adequate, which can be related to the adequate design and operation of the oxidation lagoons of the three farms. Phosphates presented a tendency to increase, as something inherent to the fish production process, but in general the other parameters did not present great differences

By identifying the impacts on the effluents that reach the Siecha river, mitigation measures are proposed based on the evidence found.

Key words: rainbow trout farm, andean river, water quality.

Introducción

La acuicultura como actividad productiva converge en el manejo de la calidad de agua, el cultivo de truchas exige cumplir con los parámetros establecidos en las normas técnicas para la gestión, producción, comercialización, en cierto modo la actividad comercial de cultivo de truchas no se encuentra asociado a la degradación del medio ambiente. El país posee una de las mayores ofertas hídricas del planeta, siendo potencialmente apta para el cultivo de truchas en zonas de alta montaña, en los últimos años el desarrollo tecnológico y comercial de la actividad acuícola, evidencia el notable crecimiento exponencial de la exportación.

En la determinación de la calidad de los sistemas hídricos, es importante tener en cuenta las características físico químicas de los cuerpos de agua, entre otros factores es influenciada por la temperatura, oxígeno disuelto y entre otros, lo que demuestra el desempeño que realizan los parámetros en los numerosos procesos de regulación hídrica. El estado de los ecosistemas acuáticos y la aplicación de índices de diversidad biológica con macroinvertebrados (Castellanos, 2008), se emplea para comparar el grado de similitud entre las estaciones, analizando parámetros como pH y compuestos nitrogenados.

Cuando las condiciones ambientales se hayan por debajo de los límites de tolerancia, se presentan alteraciones que generan cambios en los organismos, por ejemplo, agua contaminada por materia orgánica (Meléndez, 2013); igualmente los cambios en los parámetros físico químicos, pueden provocar la muerte de los organismos; de esta forma

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA
EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

evaluar el grado de contaminación en el agua, es una herramienta para la estimación de la calidad de agua de un río.

Teniendo en cuenta que la calidad del agua comprende las propiedades físicas, químicas y la interacción biológica, en un determinado ecosistema (Bosque Alto Andino), además de otros factores como la presencia de determinadas familias de organismos macroinvertebrados, permitirá evaluar el posible deterioro ambiental del ecosistema acuático; así este trabajo se desarrolló para determinar si la calidad del agua de la microcuenca río Siecha, se deteriora a su paso por las tres fincas acuícolas evaluadas.

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Justificación

Se resalta la importancia de la preservación en los ríos de bosques de alta montaña, desde su nacimiento hasta desembocadura, el país dispone anualmente de 2.000 Km³ (58 L/s/km²) de agua como escorrentía y para la infiltración profunda (Marín, 1992 en Márquez, 1996).

Conocer el grado de afectación ambiental de la producción truchícola sobre el recurso hídrico, permitirá verificar las características naturales del río y la posible variación producida por el proceso productivo, en la zona del efluente o zona de descarga de las aguas utilizadas; además de comprender el proceso de control de contaminación por la actividad y conocer las metodologías de producción limpia, para mitigar el impacto o alteración ambiental causada.

Puntualmente, este trabajo se desarrolló para determinar el posible impacto ambiental que generan las granjas productoras de truchas sobre el cauce del río Siecha, en la región de Guasca, Cundinamarca. Lo anterior ha sido tratado por las autoridades ambientales, las cuales poseen elementos técnicos basados únicamente en la calidad de agua, para determinar o no los impactos sobre esta, teniendo en cuenta varios parámetros de calidad como oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales.

La presente investigación es concordante con el Objetivo de Desarrollo Sostenible No. 6, el cual hace referencia a la disponibilidad de agua potable en el país y discute los resultados obtenidos, con la información de la Resolución No. 2115 de 2007 “Por medio de

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA
EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”; igualmente puede ser útil en la vigilancia y control de la contaminación de los ríos sobre la jurisdicción del municipio de Guasca; así, con los resultados aquí obtenidos, se espera presentar opciones de manejo encaminados a la mitigación de los impactos ambientales generados por la piscicultura de alta montaña.

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Planteamiento del problema

En la actualidad, existe falencia en investigación sobre la contaminación del recurso hídrico en el ecosistema Bosque Alto Andino, donde el incremento de la demanda de agua para el año 2012 fue 4,6% (1.654 m³). El manejo del recurso hídrico como unidad organizativa del municipio, el abastecimiento, la oferta y demanda de agua potable para consumo humano, la interacción de las actividades productivas con el río, permite analizar los aspectos e impactos ambientales ocasionados por la actividad acuícola; reconocer el estado actual del ecosistema, comparar con la altitud y geología, sin duda debe generar cambios significativos en el cauce del río, posterior al desagüe de aguas residuales o efluente.

Para evaluar las afectaciones ambientales del ecosistema de bosque Alto Andino, se debe tener en cuenta la identificación de la calidad de los sistemas hídricos y sus características fisicoquímicas (pH, nitritos, nitratos, oxígeno disuelto, materia orgánica, sulfatos, fosfatos, carbono orgánico total), pero también la relación ecológica entre los procesos metabólicos como la respiración de los organismos, en este caso truchas.

Los contaminantes procedentes de altas concentraciones de metales pesados como cobre, zinc, plomo, arsénico y mercurio, se bioacumulan en los peces, reportado en algunas regiones como Junín, se aplica el uso de pellets para remoción de dichos metales (Ponce *et al.* 2019).

Los diferentes químicos y antibióticos utilizados para combatir los brotes de enfermedades que afectan a las truchas, se acumulan en el fondo y pueden favorecer las condiciones anaeróbicas propicias al surgimiento de bacterias más resistentes. Como indicadores de contaminación se encuentra el fósforo y el nitrógeno, presentes en los sedimentos que se encuentran bajo las jaulas de cultivo, como principales contaminantes del

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Lago de Tota (Torres y Grandas, 2017). Estas cantidades no solo son aportadas por las actividades agrícolas, sino también por vertidos de tipo doméstico; los sedimentos procedentes de la producción de trucha arco iris incrementan la disminución de la profundidad del lago y generan disminución de oxígeno disuelto (Sanabria, 2019).

Actualmente son muy pocas las investigaciones realizadas para determinar el impacto ambiental que generan los cultivos comerciales de peces, en cuanto a la calidad del agua. Existe un estudio en ambiente lentic (Vásquez *et al.* 2015) en el cual determinó el impacto sobre la calidad del agua de un cultivo de truchas en jaulas flotantes, en un sistema lentic; sin embargo, en Colombia no existen estudios de impacto del cultivo de trucha sobre la calidad de agua en sistemas loticos (ríos). Los resultados que se generen de la presente investigación serán un aporte al conocimiento, de cómo las granjas de truchas podrían inducir cambios en la calidad de agua, aspecto importante a tener en cuenta para generar buenas prácticas de manejo de las aguas residuales de los cultivos de trucha en Colombia.

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Objetivos

Objetivo general

Analizar el efecto de tres cultivos comerciales de trucha arco iris, *Oncorhynchus mykiss*, sobre la calidad del agua del río Siecha, en Guasca Cundinamarca, Colombia.

Objetivos específicos

1. Comparar la calidad de agua en los parámetros de pH, oxígeno disuelto, materia orgánica, nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos, a nivel de afluente y efluente de cada una de las granjas evaluadas y en la granja de mayor altitud y de efluente de la granja de menor altitud.
2. Determinar el posible impacto ambiental de las granjas de truchas sobre la calidad del agua del río Siecha y sugerir medidas de manejo para su mitigación.
3. Plantear buenas prácticas de manejo de las aguas residuales de los cultivos de trucha en Colombia.

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Marco Referencial

Los ecosistemas de alta montaña, son relevantes geográficamente en la demanda de agua, teniendo en cuenta la importancia del recurso agua, el manejo y calidad requerida en este caso identificar el grado de incidencia de la actividad acuícola en el efluente del río Siecha.

El análisis de calidad del agua requiere herramientas y uso de las variables físicas y químicas, en este proceso intervienen factores climáticos, geológicos, altitudinales en el ecosistema a estudiar. Según Figueroa (2000), en las últimas décadas hay un creciente interés por conocer el estado de los cuerpos acuáticos y su evolución en el tiempo, estándares de juicio de calidad de agua que permitan satisfacer la demanda.

Figura 1. Mapa geográfico del municipio de Guasca.

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

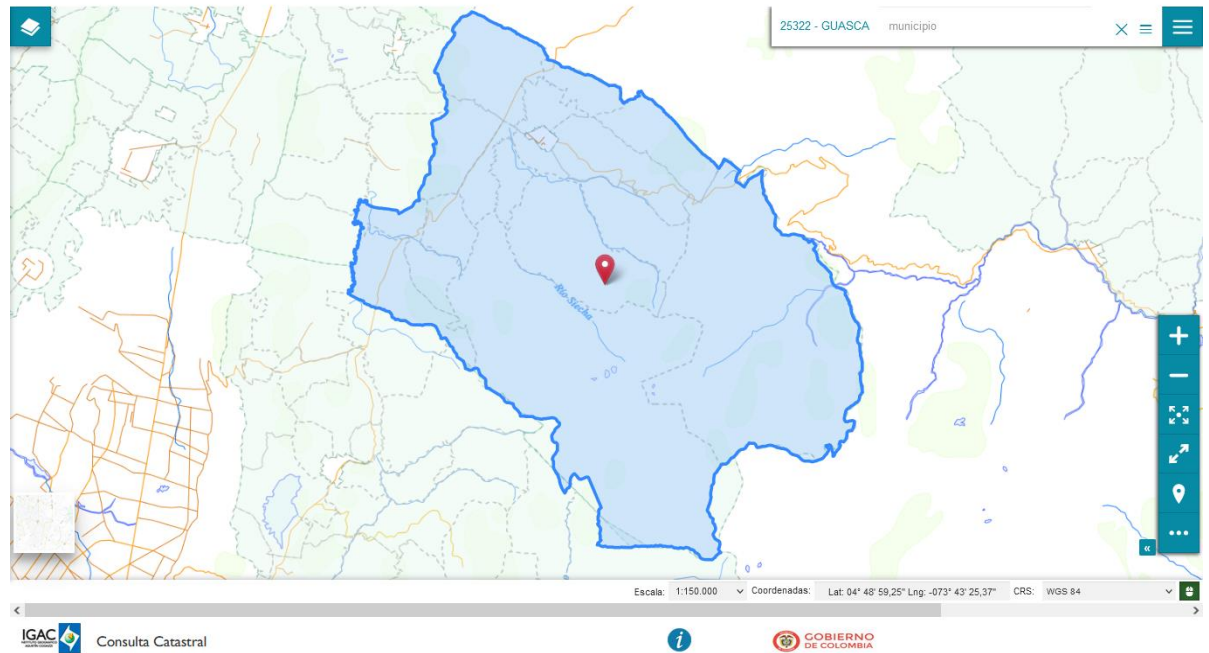


Figura 2. Zonificación del río Siecha

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

bien planificada, incluye el reciclaje de los residuos orgánicos por medio de algas u otros tipos de cultivo como medidas de biodegradación antes de la descarga final al efluente.

Anteriormente no se utilizaba los sistemas de recirculación, hoy día la mejora en la producción acuícola con la implementación de Recirculación RAS, se perfecciona con la digestión anaerobia, cuyo objetivo es la remoción materia orgánica del agua, reduciendo el volumen de material biodegradable, en forma paralela con la remoción de olores y patógenos (Appels, 2008) no solo se elimina los sólidos sedimentables de gran tamaño, sino también se disminuyen las emisiones de dióxido de carbono y los costos en energía eléctrica.

La remoción de sólidos de alta densidad con el funcionamiento de los sistemas de recirculación acuícola, ayuda diariamente con un menor consumo de agua y un recambio de oxígeno menor al 10% del volumen total (González y Segovia, 2017). Entre los impactos generados por la actividad acuícola dependiendo del método de cultivo (extensivo, semintensivo o intensivo), las heces y restos de alimento tienen mayores contenidos de carbono, nitrógeno, fósforo y pueden tener un alto contenido de materia orgánica y nutrientes (Salazar, 2001).

Al respecto, el Manual Práctico de la FAO (2014), indica que el pH de los cultivos de truchas exige un rango de oxígeno disuelto entre 7,5 a 12 mg/L, a una temperatura entre los 13°C y los 18°C, destaca mantener la temperatura del agua dentro del rango establecido y evitará el aumento de enfermedades bacterianas en el cultivo.

La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, en la Ley 142 de 1994 dispuso el cumplimiento de “la función social de la propiedad pública o privada, las entidades que presten servicios públicos tienen como obligación cumplir con su función

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

ecológica, en tanto su actividad los afecte, protegerán la diversidad e integridad del ambiente y conservarán las áreas de protección especial ecológica”, preservando las áreas de importancia ecológica, la cobertura del servicio a los habitantes del municipio, así como la actividad piscícola está sujeta a la normatividad ambiental y a lo estipulado en la Ley 99 de 1993, con el cumplimiento, verificación y control de los vertimientos líquidos; además existen otras guías, como las de Buenas Prácticas de Producción de la Acuicultura BPAA, establecidas por la norma ICONTEC NTC 5700: 2014.

Teniendo presente que las muestras detallan la entrada del agua a las granjas (afluente) y salida de las mismas (efluente), la cantidad de materia orgánica proveniente de los estanques, la medición de parámetros como temperatura, pH, color, oxígeno disuelto, carbono orgánico total, fosfatos, sulfatos, nitritos, nitratos, van a permitir la comparación entre los dos puntos y las dos épocas estacionales. En la tabla 2, se presentan los parámetros mínimos para el cultivo de trucha arco iris.

Tabla 2. Principales parámetros del agua para el cultivo de truchas.

Parámetro	Rango	Óptimo
Oxígeno (ppm)	7,5 a 12	8,5
Temperatura (°C)	13 a 18	15
pH	6,5 a 8,5	7

Fuente: Manual Piscícola, Organización de las Naciones Unidas FAO.2014.

Un proyecto piscícola requiere conocer la cantidad del caudal de la cuenca para la distribución del volumen de agua en los estanques, en consideración con las etapas de desarrollo del cultivo de truchas arco iris, el abastecimiento de agua para cantidad de truchas a sembrar. Con el aumento gradual de temperatura, disminuye la concentración de oxígeno disuelto; el oxígeno O₂ y dióxido de carbono CO₂ enriquece a otros gases contaminantes como el amoníaco NH₃, dióxido de azufre SO₂, nitritos N₂. Se genera así el efecto del

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

potencial de hidrógeno por debajo de pH 4; al respecto, (Arregui, 2013), menciona que las truchas arco iris “pierden la facultad para regular la concentración de cloro y sodio en el plasma”, pues a un pH 11 los peces sobreviven, pero presentan bajo crecimiento y baja producción en estanques.

La característica del pH tolerada por las truchas entre 5,5 y 9,5, en las primeras fases de crecimiento rango de pH de 6,5 y 8, las afectaciones en la piel, altos niveles de dióxido de carbono causan cataratas oculares o condición como nefrocalcinosis (FAO, 2014). De otro lado, la concentración de fosfatos contribuye con la proliferación vegetal, en un estudio realizado en Perú (Vásquez, 2015), menciona que en la alimentación de 70.000 truchas con un factor de conversión alimenticia de 1,0 y un incremento en biomasa de 1.16 veces por kilo de trucha producida; se deduce que el aporte del fósforo es mínimo, comparado con el consumo mensual para la siembra.

La temperatura influye en la incubación de ovas de los peces, la actividad metabólica acelera el crecimiento de larvas, aparecen reacciones químicas y biológicas se duplican en presencia de aumento de 10°C. El papel de la luz solar en el proceso fotosintético de los productores primarios (vegetales) son vitales para los procesos biológicos, los microorganismos anaerobios absorben dióxido de carbono CO₂ en el proceso de remoción de lodos en el fondo del estanque. El nitrógeno es incorporado por los nódulos de las raíces de las plantas, las bacterias aerobias consumen el oxígeno disuelto para oxidar la materia orgánica y satisfacer la necesidad de energía, son productoras de nitrito convierten el amonio en nitritos (NO₂) luego de la descomposición de organismos anaerobios, animales muertos, posteriormente en la nitrificación proceso por el cual el nitrógeno gaseoso convierte los nitratos mediante la radiación solar, los iones amonio transforman nitratos por acción de

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

bacterias autótrofas, la desnitrificación corresponde a la conversión de nitratos a nitritos N_2 para retorno a la atmósfera (Mader, 2008).

Entre los efectos adversos de la disminución de oxígeno, Buschman (2001), menciona las causas detectadas relacionadas con el personal técnico; no cumplían con el factor de conversión entre el número de truchas por volumen del estanque, disminución de la cantidad inicial de truchas para engorde. Tienden a presentar niveles bajos de oxigenación en épocas de verano, por esta razón demandan mayor oxígeno en el proceso de fotosíntesis y posterior producción de oxígeno. Es de aclarar que las poblaciones bacterianas consumen grandes cantidades de oxígeno para proceso de descomposición de la materia orgánica, cuando se observa exceso de fitoplancton comparado con demanda de oxígeno, a mayor temperatura la competencia por oxígeno requiere mayor actividad metabólica de las truchas.

Al realizar el análisis de oxígeno disuelto en cantidad mínima de concentración de oxígeno disuelto, los organismos tienden a enfermarse por parásitos exógenos, la aparición de protozoos como *Myxosoma cerebralis*, entre los síntomas las erosiones en el cuerpo de la trucha, hongos que afectan las aletas, natación de manera giratoria se hunden en el fondo del estanque, las deformaciones de las agallas y aleta dorsal. Proviene directamente de las heces de los peces, es importante el control en la densidad de las truchas arco iris por metro cúbico (m^3) de agua, pues los efectos de hipoxia y anorexia conllevan la disminución de la diversidad de las especies bentónicas y la predominancia de especies más tolerantes en el medio acuático (Cornell y Choriskey, 1993). De otro lado, la saprolegniosis en peces genera micosis en peces de agua dulce, produciendo una infección primaria, se encuentra con alta frecuencia en la piscicultura de salmón (Ocara, Carvajal y Cruz, 2019), presencia de heridas en la piel de

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

color blanco o grisáceo (Fondepes, 2014). La presencia de la infección por *Saprolegnia* favorece presencia de infecciones bacterianas (Hoshina y Ookuba, 1956) o parasitosis. Un factor es el estrés ambiental, así como una pobre calidad de agua, asociada al incremento de materia orgánica por aparición de saprolegniosis (Toor *et al.* 1983).

La prevención y control hecho por las entidades ambientales como CORPOGUAVIO, CAR, Unidad Sanitaria de los hospitales municipales, realizan la lista de chequeo en actividades de inspección, vigilancia y control; los profesionales con conocimientos en bromatología y salud pública para realizar la inspección y vigilancia de los criterios de valoración sobre procesamiento higiene, desinfección, control de plagas, disposición de residuos sólidos, saneamiento básico, procesos y tecnologías para la comercialización como filetes, envasado, área de congelamiento y almacenamiento para el mercado nacional o exportación.

Impactos ambientales

La piscicultura intensiva puede tener un impacto negativo sobre el ecosistema biótico, entre otras cosas por la acumulación de materia orgánica sobre los fondos procedente de las excretas, materia orgánica muerta y la fracción de alimento no consumido (Buschmann, 2001). Sin duda, la calidad del agua es afectada principalmente proceso el erosivo del suelo, por los aportes de sedimentos y residuos líquidos vertidos a la fuente hídrica; en el recorrido por la zona de estudio, se han generado notorios procesos erosivos, deforestación, talas, quemas, transformación del suelo y ocasionalmente deficiencias en disponibilidad del recurso hídrico en época seca.

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

La contaminación del efluente por sustancias químicas provenientes de los antibióticos, antiparasitarios restos de alimento no ingerido, aumento de la actividad microbiana, en ese sentido influye la altura de la columna de agua y su velocidad, el tiempo de descomposición de la materia orgánica.

A nivel de efluente se presentan variaciones como disminución de concentración de oxígeno, el aumento de la concentración de sólidos en suspensión y el crecimiento progresivo de algas que afectan el proceso productivo de la cuenca.

Tabla 3. Matriz de impactos sobre el Recurso hídrico.

<i>Recurso</i>	<i>Aspectos ambientales</i>	<i>Impactos ambientales</i>	VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES							<i>Significancia</i>	
			<i>Acumulación</i>	<i>Positivo negativo</i>	<i>Duración</i>	<i>Reversibilidad</i>	<i>Momento</i>	<i>Sinergia</i>	<i>Intensidad</i>		<i>Valoración total</i>
HIDRICO	Grado de oxigenación del agua.	Medición de individuos enfermos, aumento la tasa de mortalidad.	1	Neg.	4	1	4	4	2	16	Compatible
	Aumento de olores por bajos niveles del caudal.	Recurso hídrico contaminado, presenta altos niveles de toxicidad.	4	Neg.	2	2	2	2	1	13	Compatible
	Compactación de metales pesados, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno.	La tasa de mortalidad de alevines o juveniles.	4	Neg.	2	2	1	4	2	15	Compatible
	Bioacumulación de materia orgánica y sedimentos en los estanques.	Saturación en demanda biológica de oxígeno. Valor alto de DBO.	4	Pos	4	2	4	4	2	20	Moderado
	Condición organoléptica del río	Cambio color, olor, turbidez.	1	Pos	1	2	1	1	1	7	Compatible

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Acumulación de hidrofluocarbonados.	Aumento de enfermedades en truchas arco iris.	1	Neg.	2	2	2	2	2	2	11	Compatible
Cambio potencial de hidrógeno asociado temperatura.	Acidificación del agua, desmejora la fotosíntesis.	1	Neg.	2	1	4	2	1	1	11	Compatible

Fuente: Elaboración propia. Rodríguez, H. Estudios de Impacto ambiental, Guía Metodológica. 2008

La introducción de *O. mykiss* ha provocado daños en las lagunas de Junín (Perú), por el incremento en las concentraciones de fósforo total y disminución de oxígeno disuelto. La acumulación de las truchas arco iris dentro del estanque, condicionan la disminución de oxígeno disuelto, en grandes cuerpos de agua como los lagos, lo que termina en eutrofización, acumulación excesiva de material inorgánico. El incremento de las plantas acuáticas invasoras, disminución de la capacidad fotosintética y la retención de nutrientes. Sin duda, los contaminantes químicos más comunes están ligados con las actividades económicas, prácticas culturales y el grado de eficiencia del manejo de las aguas residuales provenientes de la acuicultura.

La truchicultura requiere de un flujo abundante y constante de agua, los contaminantes presentes como los metales, son de gran preocupación a nivel mundial por su persistencia, capacidad de bioacumulación y biomagnificación en los ecosistemas acuáticos, casos como el de la región de Pasco a 4380 m.s.n.m.; cercanos a región industrial de empresas extractoras de minerales y las afectaciones que estos metales causan en la salud de las personas, con los valores obtenidos de metales pesados en trucha fresca se determina que no sobrepasa los LMP, no representa ningún riesgo para el consumo y cultivo de truchas (González y Murga, 2020).

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Uno de los impactos que se evidenció en los ecosistemas acuáticos es la eutrofización, que ocasiona un incremento en el crecimiento de las algas, mortandad de peces y modificación de los ecosistemas acuáticos bentónicos (González, 2017), por ejemplo la contaminación del Lago Guamuez en Nariño, depende de la cantidad producida, en este caso tendrá incidencia en las producciones mayores a 10 toneladas anuales (González, 2017).

El Instituto de Investigación de Recursos biológicos Alexander Von Humboldt (2006), en su libro “Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies introducidas para Colombia”, menciona el efecto de la trucha arco iris sobre las especies nativas de peces; dentro del plan de manejo de la trucha en el Parque Natural Chingaza se menciona la desaparición de especie nativa pez graso de tota, *Rhizosomichthys totae*, el impacto en el ecosistema por competencia de alimento con las especies nativas, generó la depredación de este por la especie introducida.

Teniendo en cuenta que la acuicultura intensiva requiere mayor planificación por su extensión, mayor inversión económica para su funcionamiento, en siembras de truchas arco iris, se adelantan controles permanentes en cumplimiento con las normas sanitarias y procedimientos establecidos. Las aguas de piscicultura presentan contaminación con metales pesados en concentraciones mayores a las toleradas por los peces, según lo indican Reyne (2008) y Bravo (2009).

La participación de los piscicultores con la especie *O. mykiss* en colaboración con la asesoría y acompañamiento de profesionales expertos en la captura, vigilancia y manejo de producción, transporte, control de calidad, serán claves sobre la eficiencia y aprovechamiento de las aguas superficiales. La acuicultura como alternativa de producción nacional para

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

exportación, exige el cumplimiento, verificación y control de buenas prácticas acuícolas y se proyecta como una gran alternativa en la alimentación humana, según la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP).

Como consecuencia de la problemática ambiental presente en el área de estudio, se pueden citar, los cambios de uso del suelo por zonas propiedad minera, el crecimiento de los municipios para compra de vivienda, los Planes de ordenamiento territorial en función de las estrategias territoriales de uso, ocupación y manejo del suelo, el aumento de la tasa de crecimiento de población, la protección de áreas protegidas como áreas de conservación, preservación, uso y manejo de los recursos naturales renovables.

La regulación del sistema hídrico, actividad económica productiva de las familias, el aumento de los pequeños y grandes productores de truchas arco iris, favorece la capacitación para el manejo sostenible de los recursos bióticos y en el corto plazo, puedan generar cambios en las dinámicas acuícolas tradicionales e instrumentos utilizados con la finalidad de aplicar nuevas tecnologías que reduzcan la afectación de los ecosistemas.

Marco conceptual

Carbono Orgánico Total

Medición de la carga orgánica presente en las aguas potables o residuales, varía con la cantidad de materia orgánica existente en el agua, resultado de las heces de las truchas en las lagunas y sedimentos de alimento no consumido. El valor máximo aceptable en el agua es 5,0 mg/L.

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Demanda biológica de oxígeno

La cantidad de oxígeno que los microorganismos como bacterias aerobias o anaerobias facultativas, hongos, plancton, requieren. Es un indicador de calidad de aguas, lagos, lagunas y efluentes (Ferrero, 1974); los organismos aerobios tardan días en el proceso de oxidación de condiciones aeróbicas (IDEAM, 2007).

Demanda química de oxígeno

Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica, los compuestos orgánicos pueden ser oxidados por dióxido de carbono (CO_2) y agua mediante agentes oxidante realizado por catalizador.

Fosfatos

Su valor total debe variar entre 0.6 y 1.5 ppm como PO_4 y en su forma soluble no superar las 10 ppm. El fósforo orgánico se deriva de la descomposición de la materia orgánica. Los valores normales para consumo humano 0,5 mg/L, según la Resolución 2115 de 2007. Los compuestos con fosfatos aumentan el crecimiento de algas superficiales, al morir las algas inicia un proceso de descomposición que influye en la demanda de oxígeno; su toxicidad aumenta a pH ácido (Vásquez, 2015).

Oxígeno disuelto

Este parámetro indica la cantidad de oxígeno disuelto disponible en el cuerpo de agua, depende de la temperatura, salinidad y altitud. En el agua, altos niveles de oxígeno disuelto indican una alta tasa fotosintética generalmente en plantas acuáticas (Gualdrón, 2016). Los valores normales varían entre los 7,0 y 8,0 mg/L para cultivo de truchas (FAO, 2014).

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Potencial de hidrógeno pH

Es la medida de la actividad del ión hidronio o de la concentración molar en un sistema acuoso; en la escala de pH para el cultivo de trucha está en un rango de 6 a 8. Cuando se presenta sobresaturación de dióxido de carbono se acidifica el agua causando alteraciones en la osmorregulación del pez.

Nitratos

Son indicadores de aguas residuales, señala la descomposición de la materia orgánica, sea de origen animal o vegetal (Gualdrón, 2016); son generados por las actividades industriales, aguas residuales, descargas procedentes de corrales. Es esencial en el crecimiento de plantas, especies como algas. En grandes concentraciones es un contaminante de agua potable, proveniente de suelos rurales y actividades agrícolas, el valor aceptable son 10 mg/L para consumo humano según Resolución 2115 de 2007.

Nitritos

Compuesto que se forma de la biodegradación de nitratos, nitrógeno amoniacal y otros compuestos orgánicos nitrogenados. Este parámetro indicador de aguas residuales, en específico de contaminación fecal en aguas naturales. Blanco (2001), menciona para truchas que el parámetro para el cultivo de peces debe encontrarse entre 0–0,001mg/L, según la Resolución 2115 de 2007 el valor aceptable para consumo humano es 0,1 mg/L.

Sulfatos

Compuesto mineral soluble en agua, procedente de la oxidación de los sulfuros metálicos, constituido por un tetraedro de azufre y oxígeno. La concentración en el agua es variable;

EFEECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

insolubiliza los metales pesados presentes minimizando su toxicidad. Se encuentran en la fabricación de fertilizantes, pesticidas, colorantes, jabón, papel, vidrio, fármacos como agentes de sedimentación.

Metodología

El presente trabajo de grado hizo parte del proyecto de investigación FODEIN 2019 (código 010422) “*Impacto sobre la calidad del agua y la fauna béntica de tres criaderos comerciales de trucha arco iris, *Oncorhynchus mykiss*, en el río Siecha, Guasca, Cundinamarca*” y fue realizado en la parte alta del río Siecha, en el municipio de Guasca. Se utilizó un sistema de posicionamiento global GPS marca Garmin para georreferenciar cada uno de los puntos de muestreo.

Para el primer invierno y el segundo verano del año 2019, se tomó una muestra de agua en el afluente y otra muestra en el efluente, en cada una de las tres fincas productoras de trucha. Cada muestra de agua se colectó en un recipiente plástico de 1 litro, llenado a capacidad total y colocada dentro de una bolsa oscura, luego llevadas a refrigerador a temperatura de 4° C; para finalmente ser llevadas a un laboratorio certificado para su análisis físico químico. Para facilitar la identificación de las muestras, se marcaron con las siguientes leyendas:

A = Afluente o zona captación del agua

E = Efluente o zona de descarga del agua

Finca 1, El Rocío (R)

Finca 2, Villa del Río (V)

Finca 3, El Pedregal (P).

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Los puntos de muestreo indican la ubicación georreferenciada con GPS marca Garmin, de las tres fincas productoras de trucha arco iris (Tabla 4 y Figura 2).

Los datos obtenidos en la presente investigación en las épocas de verano e invierno, corresponden en invierno a la Finca El Rocío, con un promedio alto de 14,04 en DQO, 3,68 en COT en afluente, fosfatos 4,54 mg/L en promedio; en la finca Villa del Río, un promedio en DQO, alto, de 18,59 mg/L, COT de 6,97, en oxígeno disuelto y promedio 6,07 ppm; en la finca Pedregal, como promedio de DQO 13,21 mg/L, un mayor COT en el afluente de 5,60 mg/L, fosfatos en efluente 4,84 mg/L, cambios en el Oxígeno Disuelto de 6,66 ppm en afluente a 6,13 ppm en efluente.

En época de verano, la Finca El Rocío presentó una DQO promedio de 7,25mg O₂/L, reporta valores de cero en DBO₅, pH en el efluente de 6,94, fosfatos promedio de 5,68 mg/L; en la Finca Villa del Río, un DQO promedio de 10,9, promedio en DBO₅, de 6,40 mg/L, COT promedio de 4,1; los fosfatos registra mayor valor en el efluente de 6,16 mg/L, con un promedio de nitratos de 0,25 mg/L. En El Pedregal, un DQO mayor valor en el afluente 11,5 mg/L y promedio de DBO 4,0; COT 3,78 mg/L, fosfatos promedio de 6,8 mg/L y nitratos promedio de 0,26 mg/L.

Tabla 4. Ubicación georreferenciada de las tres fincas productoras de trucha arco iris.

	Finca 1 – El Rocío	Finca 2 – Villa del Río	Finca 3 – El Pedregal
AFLUENTE	9: 20 a.m.	13:15 p.m.	11:20 a.m.
Altitud m.s.n.m.	2864	2831	2772
Latitud	4,806324	4,80743	4,809771
Longitud	-73,876128	-73,880222	-73,886142
EFLUENTE	10: 00 a.m.	14:15 p.m.	12:00 p.m.
Altitud m.s.n.m.	2847	2822	2767
Latitud	4,807084	4,807513	4,810709

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Longitud	-73,87806	-73,881303	-73,8877
----------	-----------	------------	----------

Fuente: Propia.

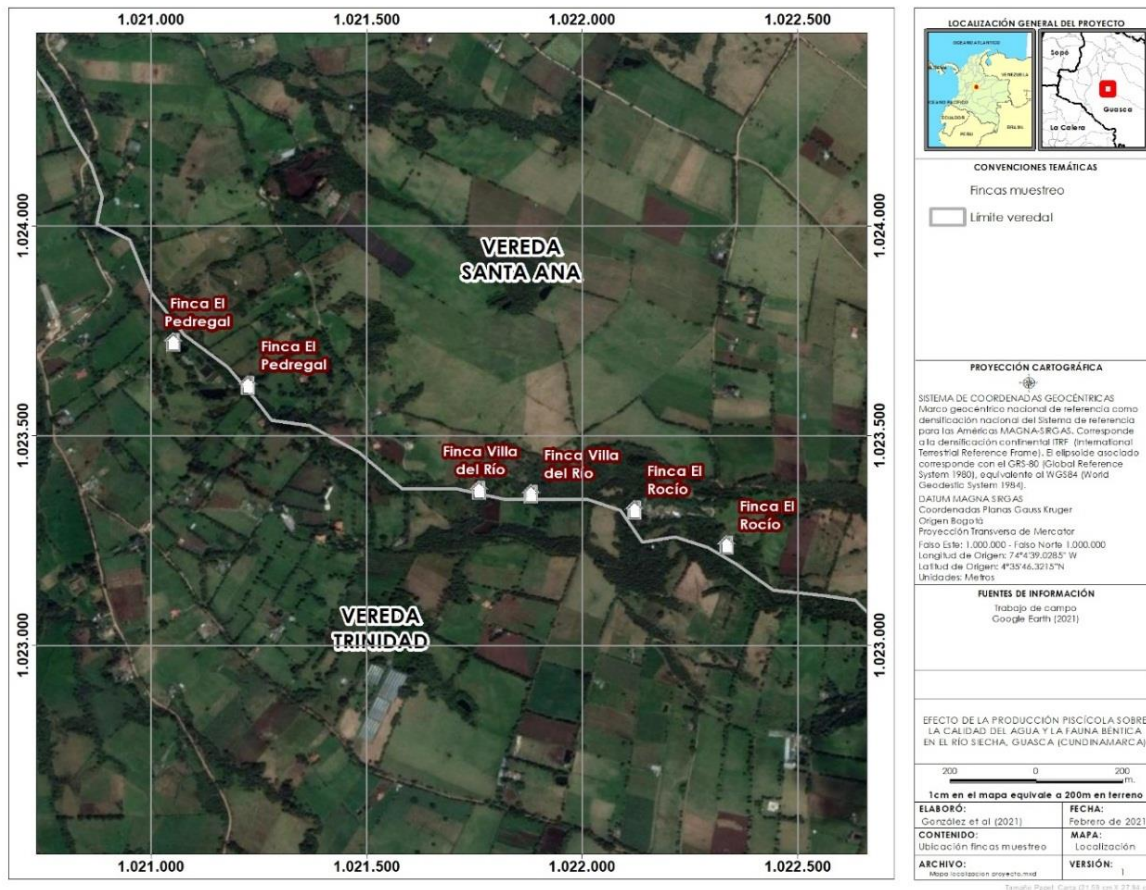


Figura 2. Ubicación de las fincas de muestreo sobre el río Siecha, Guasca, Cundinamarca.

Resultados

Los análisis físicos químicos de las muestras de agua, de acuerdo con el manual de procedimientos y recolección de datos de calidad de agua del IDEAM se presentan a continuación los resultados en cada una de las tres fincas muestreadas.

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

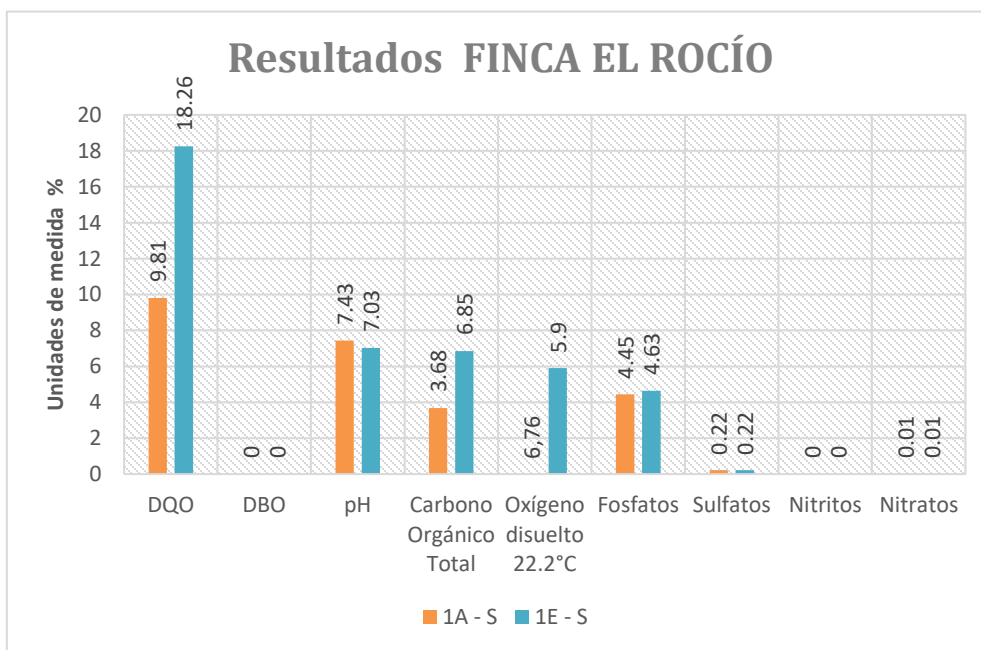
Primer muestreo – época de invierno

Tabla 5. Resultados en invierno, finca El Rocío.

PARAMETRO	Unidades de medida	Reporte afluente	Reporte efluente	Promedio
DQO	mg O ₂ /L	9,81	18,26	14,04
DBO ₅	mg O ₂ /L	0	0	0,00
COT	mg/L	3,68	2,78	3,23
pH		7,43	7,03	7,23
Oxígeno disuelto 22.1°C	ppm	6,76	5,90	6,33
Fosfatos	mg/L	4,45	4,63	4,54
Sulfatos	mg/L	0,22	0,22	0,22
Nitritos	mg/L	< 0,15	< 0,15	< 0,15
Nitratos	mg/L	0,01	0,01	0,01

Fuente: Propia.

Figura 3. Resultados en invierno, Finca El Rocío.



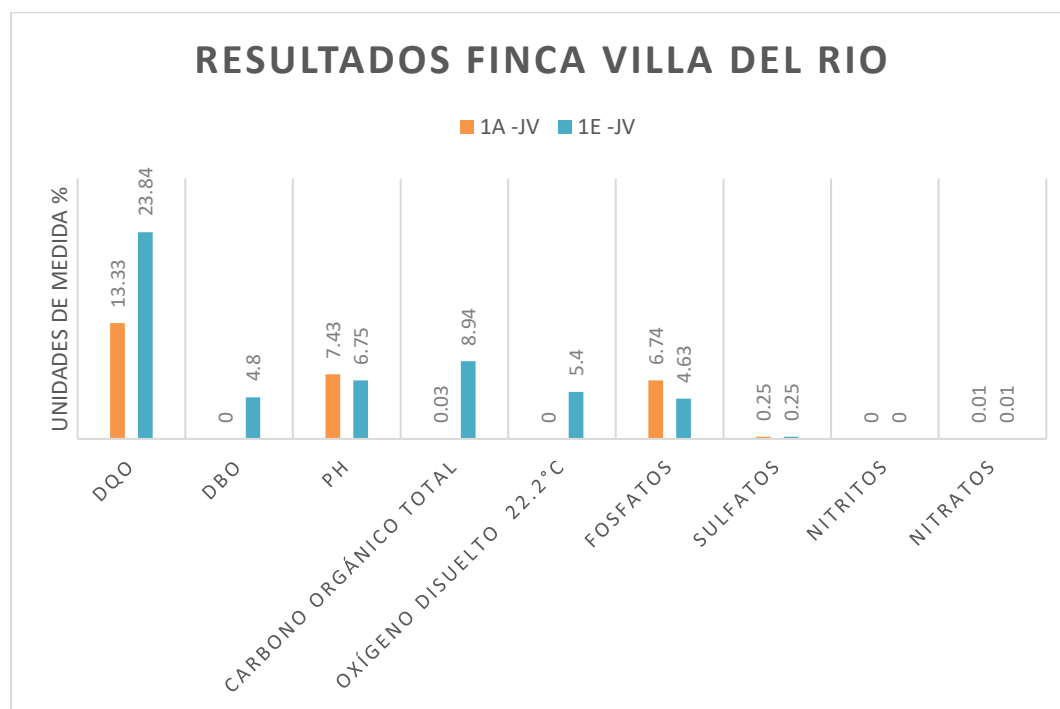
EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA
EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Tabla 6. Resultados en invierno, finca Villa del Río.

Parámetro	Unidades de medida	Reporte afluente	Reporte efluente	Promedio
DQO	mg O ₂ /L	13,33	23,84	18,59
DBO ₅	mg O ₂ /L	0	4,8	2,40
COT	mg/L	5,0	8,94	6,97
pH		7,43	6,75	7,09
Oxígeno disuelto 22.3°C	ppm	6,74	5,40	6,07
Fosfatos	mg/L	6,74	4,63	5,69
Sulfatos	mg/L	0,25	0,25	0,25
Nitritos	mg/L	< 0,15	< 0,15	< 0,15
Nitratos	mg/L	0,01	0,01	0,01

Fuente: Propia.

Figura 4. Resultados en invierno, Finca Villa del Río.



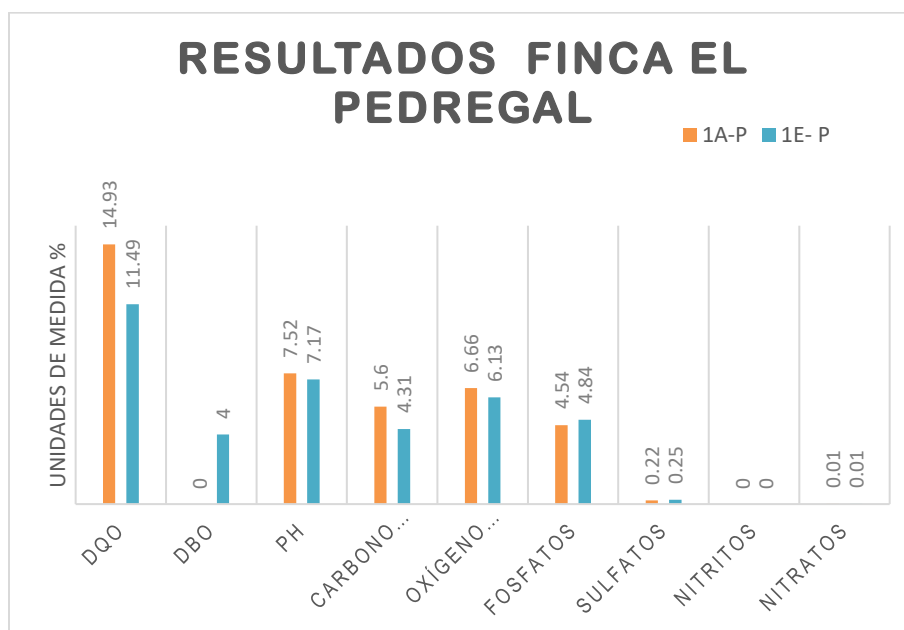
EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Tabla 7. Resultados en invierno, finca El Pedregal

Parámetro	Unidades de medida	Reporte afluente	Reporte efluente	Promedio
DQO	mg O ₂ /L	14,93	11,49	13,21
DBO ₅	mg O ₂ /L	0	4	2
COT	mg/L	5,60	4,31	4,95
pH		7,52	7,17	7,34
Oxígeno disuelto 22.2°C	ppm	6,66	6,13	6,39
Fosfatos	mg/L	4,54	4,84	4,69
Sulfatos	mg/L	0,22	0,25	0,23
Nitritos	mg/L	< 0,15	< 0,15	< 0,15
Nitratos	mg/L	0,01	0,01	0.01

Fuente: Propia.

Figura 5. Resultados en invierno, finca El Pedregal



Segundo muestreo – época de verano

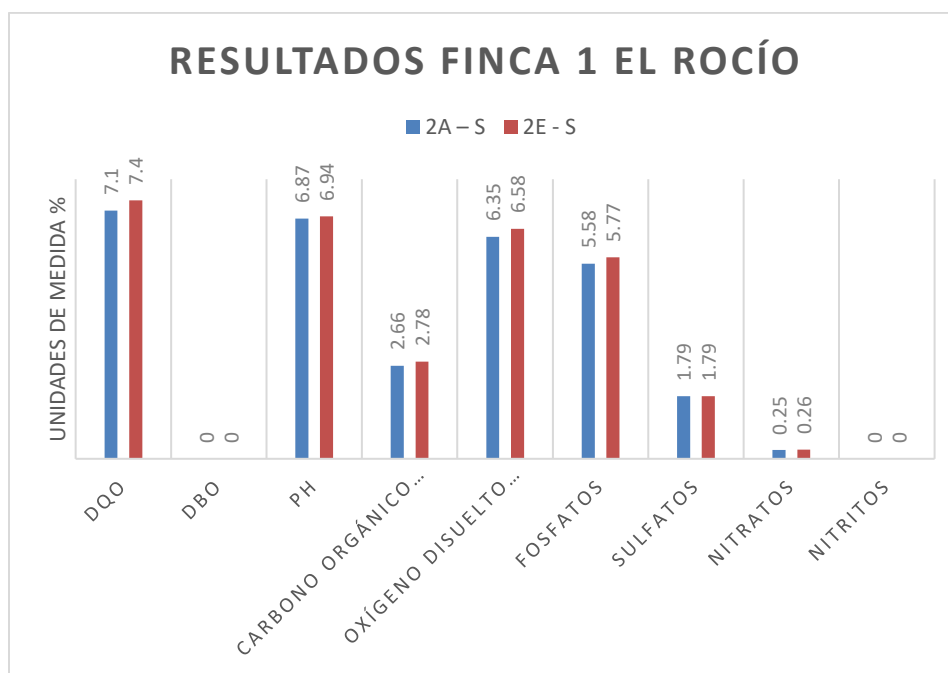
EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA
EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Tabla 8. Resultados en verano, finca El Rocío.

Parámetro	Unidades de medida	Reporte afluente	Reporte efluente	Promedio
DQO	mg O ₂ /L	7,1	7,4	7,25
DBO ₅	mg O ₂ /L	0	0	0,00
COT	mg/L	2,66	2,78	2,72
pH		6,87	6,94	6,91
Oxígeno disuelto 22.3°C	ppm	6,35	6,58	6,46
Fosfatos	mg/L	5,58	5,77	5,68
Sulfatos	mg/L	1,79	1,79	1,79
Nitratos	mg/L	0,25	0,26	0,26
Nitritos	mg/L	< 0,15	< 0,15	< 0,15

Fuente: Propia.

Figura 6. Resultados en verano, finca El Rocío.



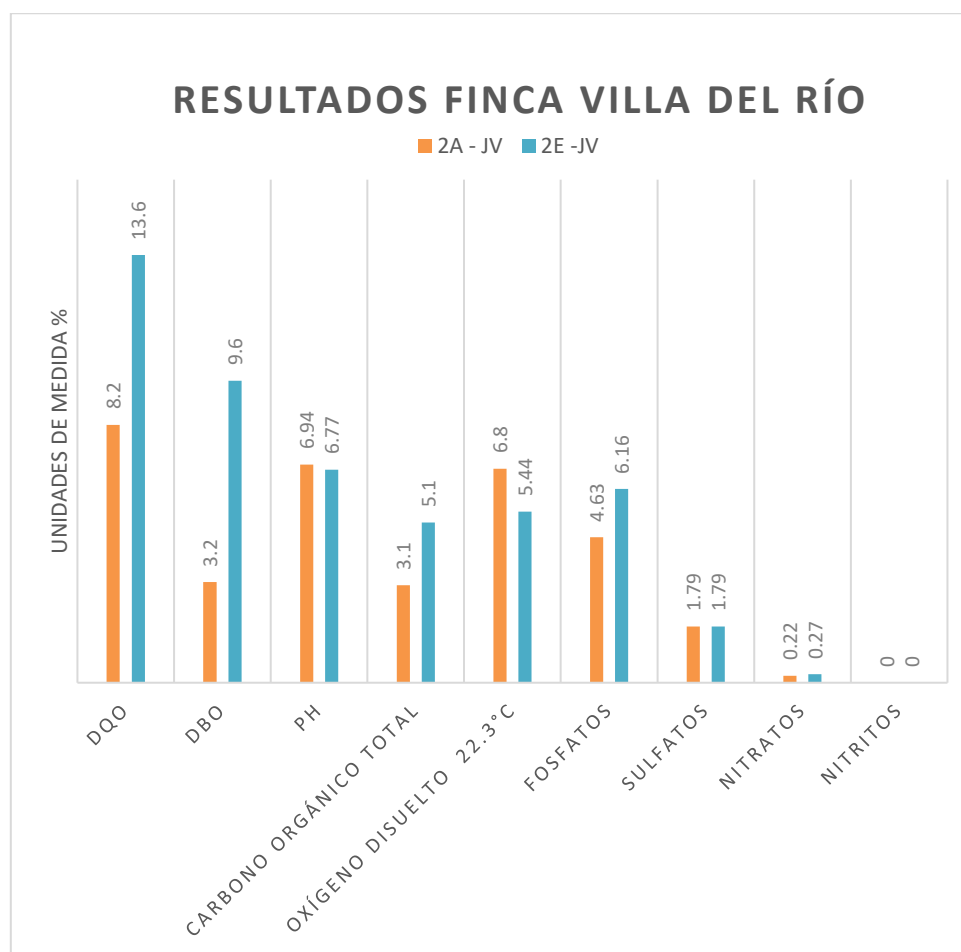
EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Tabla 9. Resultados en verano, finca Villa del Río.

Parámetro	Unidades de medida	Reporte afluente	Reporte efluente	Promedio
DQO	mg O ₂ /L	8,2	13,6	10,90
DBO ₅	mg O ₂ /L	3,2	9,6	6,40
COT	mg/L	3,10	5,10	4,1
pH		6,94	6,77	6,86
Oxígeno disuelto 22.3°C	ppm	6,8	5,44	6,12
Fosfatos	mg/L	4,63	6,16	5,40
Sulfatos	mg/L	1,79	1,79	1,79
Nitratos	mg/L	0,22	0,27	0,25
Nitritos	mg/L	< 0,15	< 0,15	< 0,15

Fuente: Propia.

Figura 7. Resultados en verano, Finca Villa del Río.



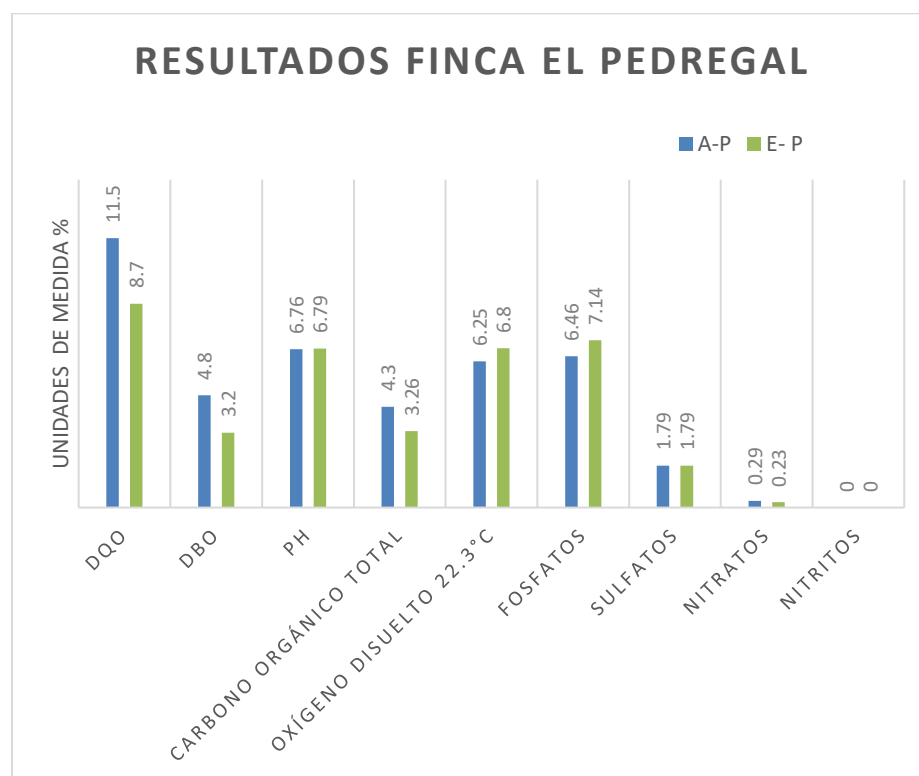
EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Tabla 7. Resultados en verano finca El Pedregal.

Parámetro	Unidades de medida	Reporte afluente	Reporte efluente	Promedio
DQO	mg O ₂ /L	11,5	8,7	10,1
DBO ₅	mg O ₂ /L	4,8	3,2	4,0
COT	mg/L	4,30	3,26	3,78
pH		6,76	6,79	6,77
Oxígeno disuelto 22.3°C	ppm	6,25	6,8	6,52
Fosfatos	mg/L	6,46	7,14	6,8
Sulfatos	mg/L	1,79	1,79	1,79
Nitratos	mg/L	0,29	0,23	0,26
Nitritos	mg/L	< 0,15	< 0,15	< 0,15

Fuente: Propia.

Figura 8. Resultados en verano, finca El Pedregal.

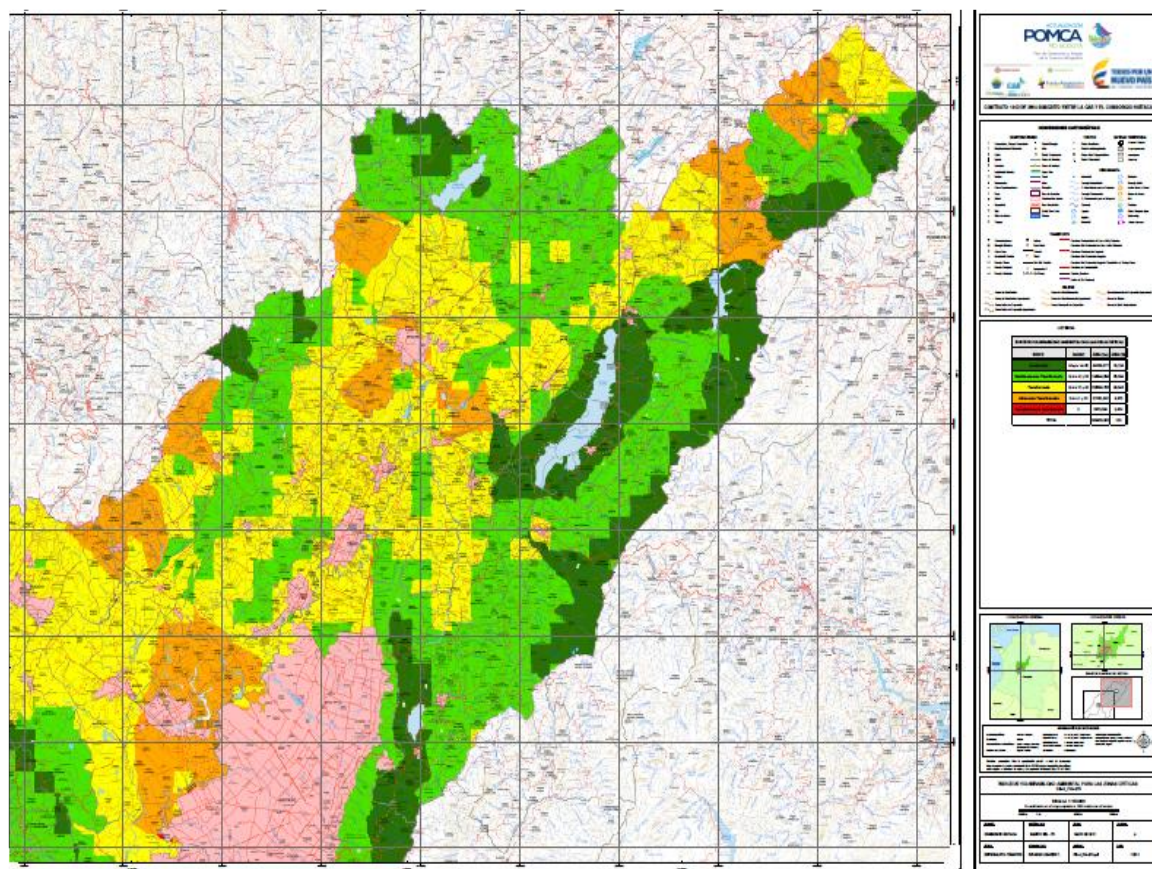


EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Discusión de resultados

En la actualización del POMCA del río Bogotá, específicamente el mapa de Índice de vulnerabilidad ambiental, la altitud registrada de las fincas de truchas, corresponde al área medianamente transformada, no categorizada como una zona crítica.

Figura 9. Mapa Índice de vulnerabilidad ambiental



Fuente: Ubicación variabilidad climática, Corpoguavio (2018).

Prospectiva

Desde la salida del embalse de Tominé, que a su vez desemboca en el río Bogotá, el río Siecha recorre aproximadamente 3,0 km aguas abajo, dejando en su recorrido los excedentes de sedimentos de los afluentes, como los ríos Aves, Chipatá y Siecha. Según la

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

caracterización de los suelos prevalece la agricultura, los terrenos con cultivos transitorios e invernaderos, pastizales, áreas de reserva forestal, vegetación como el frailejón, *Espeletia spp.*, que protege de la variabilidad climática que se presenta durante el día.

Los conflictos identificados por la ocupación del suelo están ocasionados principalmente por el uso en prácticas agrícolas, seguido de la ganadería intensiva y cambios paisajísticos con sustitución de las plantas nativas por especies vegetales introducidas como el eucalipto, *Eucalyptus globulus* y el retamo espinoso, *Ulex europaeus*.

Tabla 8. Valor Índice de riesgo para la calidad agua potable.

PUNTO DE MONITOREO	VALOR IRCA	CLASIFICACIÓN	VALOR IRCA	CLASIFICACIÓN
Río Siecha Cuenca alta	0,61	Regular	0,71	Aceptable
Río Siecha antes del Casco urbano	0,53	Regular	0,62	Regular
Río antes desembocadura río Aves	0,58	Regular	0,67	Regular
Embalse Tominé	0,57	Regular	0,66	Regular

Fuente: Informe Índice de calidad de agua, 2019.

Los conflictos identificados en la ocupación del suelo están principalmente relacionados con el uso de prácticas agrícolas, seguido de la ganadería intensiva y en el punto de muestreo de mayor altitud se detalla el cambio tendencial en la cobertura vegetal como conflicto ambiental por especies introducidas como el eucalipto y el retamo espinoso, sustituyeron las plantas nativas de los bosques primarios y secundarios. En el ecosistema de bosque Alto Andino, se detalla la vulnerabilidad climática en el aspecto de fragmentación del bosque secundario “caracterizado por una vegetación compuesta especialmente por encenillo, *Weinmannia sp.*, mortiño, *Hesperomeles sp.*, tuno, *Miconia sp.*, cucharo, *Clusia sp.* y pegamosco, *Befaria sp.*; a mayor altitud del bosque predomina la condición de alta

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

nubosidad característica relevante en el ciclo hidrológico, en el proceso de condensación y formación de lluvia.

Parámetros de calidad de agua

DQO y DBO₅

Para DQO en época de invierno, el afluente de la finca El Rocío, presentó 9,81 mg/L, mientras en el efluente 18,26 mg/L, casi el doble. Para la finca Villa del Río, en afluente se obtuvo 13,33 mg/L y en efluente se incrementó a 23,84 mg/L y para la tercera finca, el Pedregal, en afluente 14,93 mg/L y se redujo en el efluente a 11,49 mg/L. Como se denota, existe una tendencia a que este parámetro se incremente a nivel de efluente, coincidiendo con el registro de mayores valores de COT y por ende de mayor materia orgánica. Similar tendencia se presentó en la época de verano, donde en el afluente de la finca El Rocío se registró 7,10 mg/L y en el efluente 7,40 mg/L; para Villa del Río, en afluente 8,20 mg/L y en efluente 13,60 mg/L y para El Pedregal en afluente 11,5 mg/L y en el efluente se redujo a 8,70 mg/L, tendencia esta última similar al COT y a la materia orgánica.

Para ambas temporadas, si se compara el punto de mayor altitud (afluente El Rocío) y el de menor altitud (efluente El Pedregal), se observa una ligera reducción, indicando sin duda, que el manejo dado a la materia orgánica en las lagunas de oxidación de las tres granjas, puede considerarse como adecuado, sin ser óptimo. En general, se obtuvieron registros entre 8,70 mg/L y 23,84 mg/L, lo que indica que el agua utilizada en las granjas y devuelta al medio vía efluentes, puede considerarse un agua pura entre (rango 2 a 20 mg/L) o muy poco contaminada (rango 20 a 100 mg/L) (Tebbut, 2008).

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

De otro lado, el DBO_5 en invierno, obtuvo valores de 0,0 en los tres afluentes y en verano, tanto en afluente como en efluente de la finca El Rocío. Se obtuvo un valor mínimo diferente a 0,0 en afluente de Villa del Río y en efluente de El Pedregal (3,20 mg/L) y un valor máximo de 9,60 mg/L, en el efluente Villa del Río. Se observó que el valor de la DQO siempre fue superior al de DBO_5 , esto es debido a que muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente pero no biológicamente. La diferencia es que los gramos o miligramos de oxígeno se refieren, en el caso de la DBO_5 , a los requeridos por la degradación biológica de la materia orgánica; mientras que en el caso de la DQO representan los necesarios para la degradación química de la materia orgánica.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo, para muestras de un origen específico. La DQO se puede relacionar empíricamente con la DBO, el carbono orgánico o la materia orgánica. En otro término, es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias tanto aeróbicas como anaeróbicas, hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en mgO_2/L . Como tendencia general, cuanto más haya contaminación, mayor será la DBO.

La principal diferencia entre la DBO_5 y la DQO, radica en que la segunda engloba la primera, incluyendo más aspectos; así en la DBO_5 sólo se detecta el material orgánico degradado biológicamente o que es biodegradable, mientras que la DQO busca la oxidación completa de la muestra, de manera que todo el material orgánico, biodegradable y no

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

biodegradable, es químicamente oxidado. Para una muestra de agua, el valor de DQO siempre ha de ser mayor que el de DBO.

Para ver si las granjas impactan o no la calidad de agua del río Siecha sobre este parámetro, se hizo la relación entre la DBO_5 y la DQO para dar una idea del nivel de contaminación; pues se dice que si la relación (DBO_5/DQO) es menor a 0,2, se tendrá un efluente considerado como poco biodegradable y sería conveniente un tratamiento físico-químico; situación que no se presentó en ninguna finca; tan solo en el efluente de la finca Villa del Río (invierno), se obtuvo 0,20, registro más cercano a esta incómoda situación. De otro lado, si esta misma relación oscila entre 0,20 y 0,50, se tendrán efluentes clasificados como urbanos limpios, por lo tanto, más biodegradables y que pueden ser tratados mediante sencillos tratamientos biológicos. Esta situación fue la predominante y se presentó en sitios como efluente El Pedregal (0,34- invierno), afluente Villa del Río (0,39-verano), afluente El Pedregal (0,41-verano) y efluente El Pedregal (0,36-verano). El único registro considerado alto, se obtuvo en verano en el efluente de Villa del Río (0,70 mg/), lo cual podría tener relación con el elevado COT registrado allí (5,10) y posiblemente con una laguna de oxidación que no cumple a cabalidad con la norma de diseño y área, que dice debe ser mínimo el 10% del espejo total de agua de una finca acuícola (Blanco, 1995). En general se podría afirmar que el manejo dado a la materia orgánica en las lagunas de oxidación de las tres granjas, es adecuado, sin ser el mejor.

En general se dice que en una estimación elevada de DQO en un sistema lotico, puede acelerar el crecimiento bacteriano y el consumo de nivel de oxígeno (Páez, 2001); así, en presencia de mayor cantidad de materia orgánica contenida en una muestra de agua, más cantidad de oxígeno necesitan los microorganismos para oxidarla (Raffo y Ruiz, 2014). En

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

ese sentido, la limpieza periódica de los estanques piscícolas, evitaría la acumulación de los excrementos producidos por las truchas y el alimento no consumido; minimizando el crecimiento de bacterias y microorganismos en un determinado periodo de tiempo.

Carbono Orgánico Total COT

Este parámetro en invierno varió entre 0,03 (afluente Villa del Río) y 8,94 en efluente de la misma finca; pasó de ser un agua con baja materia orgánica a contener una alta materia orgánica, según lo postulado por Boyd *et al.* (2002) y debido probablemente al área no adecuada de la laguna de oxidación, no cumpliendo con su función de decantar sólidos de manera eficiente. Para verano, varió entre 2,66 (afluente El Rocío) y 5,10 (efluente Villa del Río), es decir pasó de un agua con moderada materia orgánica a una con alta materia orgánica, posiblemente debido a los aportes de esta misma finca y de la primera finca, reflejada en sedimentos, excretas de peces, restos de alimento no consumido y otros componentes propios del cauce del río Siecha.

En general, las concentraciones de COT en las dos temporadas, no están por encima de los valores aceptados para consumo humano, que es 5,0 mg/L, (MPS-MAVDT, 2007), excepto dos registros a nivel de efluente en invierno (El Rocío y Villa del Río). La contaminación por COT en el sector alto del río, puede originarse también por las descargas de aguas residuales domésticas y por la baja ganadería extensiva presente en la zona, que como lo reportan Ordóñez Díaz *et al.* (2014), las actividades ganaderas, cerca de la rivera y las descargas directas al río de aguas residuales, incrementan la contaminación por COT.

Este componente importante del ciclo global del carbono, ocupa el 69,8 % del carbono orgánico de la biosfera, el carbono orgánico se encuentra en forma de residuos

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al carbono elemental. La materia orgánica, igualmente está formada por los restos vegetales y animales, que por la acción de la microbionta son convertidos en una materia rica en reservas de nutrientes. Se haya almanente relacionada con el COT, pues es cercana al 50% de carbono orgánico, por lo que una aproximación para estimar la MO, es multiplicando el COT por 2, generalmente por 1,9 (González, 2015).

Sobre un posible impacto de estas granjas productoras sobre este parámetro y relacionando la ubicación de las fincas objeto de este estudio, se comparó el COT del punto más alto (2,66 afluente El Rocío, invierno) y el COT del punto más bajo (3,20 efluente El Pedregal, verano), notándose un bajo incremento de 0.6 mg/L de COT; es importante anotar que para ambos registros, se tiene agua con moderada materia orgánica y que se haya dentro del rango aceptado en la Resolución del MPS-MAVDT, 2007, lo que evidencia un ligero impacto de las fincas sobre la calidad del agua del río.

La eficiencia en la asimilación del carbono tiene implicaciones en la calidad del agua, según lo planteado por Avnimelech (2003), pues aproximadamente el 87% del carbono proporcionado con el alimento y la fertilización por los animales de cultivo, se pierde. El carbono orgánico engloba los compuestos no biodegradables, la disponibilidad de carbono es baja en aguas ácidas y con pH alto (Ulloa, 2015); esta situación no se encontró en ninguna de las fincas evaluadas. Son las bacterias participantes del ciclo del carbono a través de la oxidación directa del carbono orgánico disuelto a CO₂ transfieren el carbono a la cadena trófica (Azam *et al.* 1983).

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Potencial de hidrógeno (pH)

Los rangos de pH se encontraron normales, los rangos deseables para piscicultura comercial se hayan entre 6,5 y 8,0, pero para el cultivo de trucha arco iris, un pH entre 6,5 y 8,5 es aceptable. Los valores registrados en este estudio están por debajo o cercano al valor neutro de 7,0 a temperatura de 22°C. Para invierno, el pH osciló entre ligeramente alcalino (7,52, afluente El Pedregal) y neutro (6,75, efluente Villa del Río) y para verano no presentó variación, permaneció con tendencia a la neutralidad (6,94, afluente El Rocío y 6,76, afluente El Pedregal).

Dadas las condiciones de pH y de temperatura del agua, estos parámetros se encuentran directamente relacionados con los procesos metabólicos de los peces como lo son respiración, nutrición e incluso regulación corporal (Solla, 2014). La relación inversa entre pH y CO₂, puede sugerir que el agua que entra a El Pedregal contiene baja concentración de CO₂, por la baja presencia de organismos acuáticos como peces que respiran, aun cuando el agua ya ha pasado por las dos fincas anteriores, demostrando una alta resiliencia en un trayecto relativamente corto del río, cercano a los 900 metros de cauce.

Teniendo en cuenta la ubicación de las tres fincas y se compara el pH entre el punto más alto (7,43 afluente El Rocío) y el pH del punto más bajo (6,79 efluente El Pedregal), se observa una ligera variación, que va de un pH ligeramente alcalino a un pH neutro, lo que indicaría que la actividad truchícola, tampoco tendría un impacto sobre este parámetro de calidad del agua. De otro lado, es importante anotar que como los muestreos fueron realizados durante las horas de la mañana (antes de las 9 am), donde la concentración de CO₂ tiende a ser baja por la respiración de peces y otros seres vivos, se esperarían valores de pH

EFEECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA con tendencia a la alcalinidad, como se observó en el afluente de las tres finas durante la época de invierno.

Lo anterior, puede entenderse desde el punto de vista, que el CO_2 al combinarse con el agua forma ácido carbónico H_2CO_3 (ácido débil, muy inestable que tiende a disociarse en CO_2 y H_2O) acidifica el medio, pero dependiendo del contenido en bases de calcio y magnesio del agua, forma carbonatos y bicarbonatos. La variación del agua el ácido carbónico H_2CO_3 ácido débil de carácter inestable se disocia en dióxido de carbono CO_2 y agua H_2O , acidifica el medio en presencia de bases de calcio y magnesio conocidos como carbonatos y bicarbonatos (Vásquez, 2015).

Para Klontz (1991), los valores considerados aceptables en la crianza de truchas están entre 6,7 y 8,5, cuando el pH es mayor 9 se debe descartar para la truchicultura. Registros con valores de pH inferiores a 6,5, la reproducción de la especie *O. mykiss* disminuye, como efecto del pH por debajo de 4 se presenta muerte ácida y por encima de 11 muerte alcalina. La excesiva variación de este parámetro a niveles inferiores a 6,5 pueden producir hemorragias en las branquias, estrés y elevada mortalidad (Fondepes, 2014).

Oxígeno disuelto OD

El oxígeno disuelto OD es quizá el parámetro más importante dentro de la piscicultura, de él dependen todos los procesos metabólicos en los peces, incluyendo aspectos tan importantes como la tasa de crecimiento, la ingestión de alimento y la mortalidad. Su concentración depende básicamente de tres factores como lo son, la tasa de producción de oxígeno vía fotosíntesis del plancton, la transferencia de oxígeno atmosférico en la interfase agua-aire y la tasa de consumo de oxígeno por la respiración de los peces y otros organismos acuáticos.

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

En invierno varió entre 5,4 mg/L (efluente Villa del Río) y 6,7 mg/L (afluente EL Rocío y Villa del Río); mientras para verano varió entre 5,4 mg/L (afluente Villa del Río) y 6,8 mg/L (afluente Villa del Río). Los valores registrados en este estudio están por debajo o cercano al valor de 7,0 debido a que fueron estimados en laboratorio a temperatura de 22°C, lo que reduce notablemente la concentración de OD. Normalmente el agua del río en este tramo, presenta una temperatura promedio entre 10 y 11 grados centígrados, lo que normalmente genera una concentración de OD cercana a 11,0 mg/L. Aun así, si los valores reales fueran los obtenidos y presentados aquí, un rango de OD entre 5,5 y 7,0 sería aceptable para cultivar truchas.

Para efecto de cultivos de trucha, se prefieren aguas frías, con concentración de OD igual o mayor a 7,0 mg/L, debido a que estos peces son altamente exigentes en este parámetro, para procesos metabólicos y respiratorios. El OD en aguas frías posee mayor concentración respecto a aguas cálidas, debido a la solubilidad de éste en el agua; así existe una relación inversa entre temperatura y oxígeno disuelto (Solla, 2014).

Para dilucidar el posible impacto de la truchicultura sobre este parámetro y según la ubicación de las tres fincas, se comparó el OD del punto más alto (6,7 mg/L afluente El Rocío) y el OD del punto más bajo (6,1 mg/L efluente El Pedregal) y se observó una diferencia de tan solo 0.6 mg/L de OD, una leve variación que indicaría que este parámetro no se ve afectado por la actividad piscícola; debido a razones como la alta tasa de recambio de agua que se usa en los estanques truchícolas, que es cercana a 1.5 veces por hora, común en este tipo de cultivos. También contribuye para que se mantenga alto el nivel de OD, el cauce pedregoso del río Siecha, su desnivel del cauce y la velocidad del agua, que facilitan el intercambio de oxígeno entre la superficie del agua y la atmósfera.

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

La trucha requiere de niveles elevados de oxígeno disuelto, que es usado en la respiración y en la oxidación química; las causas principales de un bajo OD son los aumentos en temperatura de agua y el florecimiento de algas. Los estanques pierden oxígeno por difusión en la mayor parte del día, cuando la concentración de oxígeno es baja, ayuda el oxígeno que se difunde del aire puede ser salvavidas para los peces de cultivo (Boyd, 2018).

Cuando se da una variación de la temperatura del agua en tiempo seco, es menor la disponibilidad de oxígeno para la cantidad de truchas en el estanque. Uno de los factores identificados que disminuyen el nivel de oxígeno es la mayor tasa metabólica por incremento de la temperatura, es importante mencionar que a mayor temperatura del agua, hay menos cantidad de oxígeno, esto debido a la solubilidad del oxígeno en el agua.

Fosfatos

En la época de invierno, este parámetro varió entre 4,45 ppm (afluente El Rocío) y 6,74 (afluente Villa del Río); mientras que para verano osciló entre 4,63 ppm (afluente Villa del Río) y 7,14 (efluente El Pedregal). Los valores registrados en las granjas evaluadas no sobrepasan el límite permisivo para consumo humano, que es 0,50 ppm.

La finca El Rocío capta agua del río con un valor considerado alto (4,45 ppm en invierno y 5,58 ppm en verano). Para efectos piscícolas, el valor total de fosfato soluble no debe superar las 10 ppm, lo que en estos términos prácticos significa que, para este tipo de producción, el parámetro se haya en un rango aceptable. La toxicidad de fosfatos aumenta a pH ácidos, situación que tampoco se presenta en ninguna de las granjas evaluadas, pues se registraron pH entre neutros y ligeramente alcalinos. Al comparar el afluente de mayor altitud

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA (El Rocío) y el efluente de menor altitud (El Pedregal), se nota un incremento significativo de casi 2,9 ppm.

Precisamente desde el primer afluente evaluado (2.864 msnm), las concentraciones ya se hayan por encima de los valores aceptados (MPS-MAVDT, 2007); esto probablemente por los vertimientos de viviendas rurales con residuos de detergentes, que contienen fosfatos, puesto que en la rivera de este sector del río, existen viviendas y también descargas de residuos de fertilizantes, pues en la zona existe una interesante actividad agropecuaria de clima frío (ganadería de leche y agricultura), lo cual es consistente con los postulados de Bolaños-Alfaro *et al.* (2017) y Zhang *et al.* (2018), quienes afirman que la contaminación del agua con fosfatos, es sin duda consecuencia del uso indiscriminado de fertilizantes agrícolas, que contienen fosfatos solubles en agua. Es importante también considerar, lo que reportan Alves y Baccarin (2005), quienes establecen que el 66% del fósforo aportado por las raciones alimenticias en sistemas intensivos de peces llega al sedimento, el 11% se disuelve en el agua, elevando naturalmente este parámetro y el 23% restante es incorporado por los peces cultivados.

En general, la concentración de fósforo y sus compuestos en el agua de las tres granjas sí varió, con un promedio en invierno de 4.97 ppm y de 5.95 en verano. Según (Thunjai *et al.* 2004), esto es común en cultivos de peces como bagre de canal y trucha arco iris, que son peces carnívoros y requieren de un alto tenor de proteína en la dieta, que se basa precisamente en la harina de pescado, rica en fósforo y su consecuente aporte al medio acuático.

Es de presumir entonces que el fosfato tiene su origen, además del que ingresa normalmente desde la fuente (en significativa concentración), con el que corresponde al

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

alimento concentrado no consumido, las heces y mortalidad de los peces entre otros.

Normalmente se precipita rápidamente formando compuestos con otros elementos químicos, preferentemente calcio, hierro y aluminio. Sin duda se puede afirmar que la operación productiva de las granjas, si influye en su concentración final, como se observó en este trabajo, al registrarse el dato más alto de 7,14 ppm en el afluente de la El Pedregal.

La concentración de fósforo, da origen a una gran proliferación vegetal, crecimiento de algas superficiales; son identificables en presencia de aguas con vertidos urbanos, pues arrastran abonos agrícolas no consumidos (Vásquez, 2015).

Los fosfatos conducen al crecimiento de las algas en aguas superficiales, dependiendo de la concentración de fosfato en agua puede llegar a producirse la eutrofización; consiste en el enriquecimiento de las aguas con nutrientes. La variación obtenida de este parámetro en promedio en verano a 5,95, lo cual determina una alta variación en esta época, evidencia una mayor concentración de fosfatos en el agua. Sin duda, el fósforo es uno de los elementos más limitantes en la alimentación de los animales acuáticos, puede ser absorbido del medio acuático; la asimilación del fósforo a partir del alimento es 200 veces mayor que lo absorbido por el agua. La asimilación a partir de los minerales agregados a la dieta suele ser alrededor del 90 a 95% (Vásquez, 2015).

Sulfatos

Todos los valores de sulfatos se encontraron por debajo del nivel permisivo que sugiere la Resolución 2115 de 2007 para agua potable, que es 250 mg/L; estos compuestos se derivan de la actividad metabólica de los peces, como también por el aporte de los suelos y aguas subterráneas; para el cultivo de truchas se habla de una concentración permitida

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

menor a 500 ppm, pero óptimamente no mayor a 18 ppm (Solla, 2014), lo que indica que los registros aquí encontrados, se hayan dentro de este rango.

Para la estación lluviosa o invierno, los sulfatos variaron entre 0,22 mg/L (afluente El Rocío) y 1,79 mg/L (efluente El Pedregal); para verano no presentó variación y permaneció con un valor de 1,79 mg/L, tanto en afluentes como en efluentes de las granjas evaluadas. Al analizar el registro del sitio más alto (0,22 mg/L, afluente El Rocío) con el punto más bajo (1,79 mg/L, efluente El Pedregal), se observa un incremento de 1,57 mg/L, posiblemente influenciado en gran parte por los procesos metabólicos de los peces de las tres granjas, además por el aporte del lecho del río Siecha, donde la pendiente del terreno y la velocidad del caudal, influyen en el escurrimiento de las aguas lluvias y el proceso de percolación de sedimentos (Reyes, 2016). En general, los sulfatos, aunque presentaron valores por debajo de los aceptados por MPS-MAVDT (2007) y registraron diferencias significativas en los sectores alto y bajo del río, durante la temporada de invierno.

Las aguas con contenidos de sulfatos insolubilizan los metales pesados y minimiza su toxicidad, la concentración de los sulfatos en el agua es variable oscilando entre 20 y 50 mg/L en ríos de zonas templadas como América del norte. Los niveles de sulfato en agua de lluvia y agua superficial se correlacionan con las emisiones de dióxido de azufre ocasionadas por la actividad humana (Bolaños, 2017).

Nitratos

Para la época de invierno, este parámetro no varió entre las fincas evaluadas, como tampoco a nivel de afluentes y efluentes. Para verano, se obtuvieron registros entre 0,22 mg/L (afluente Villa del Río) y 0,29 mg/L (afluente EL Pedregal). Comparando los datos obtenidos

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

entre el punto el punto de mayor altitud (0,01 mg/L, afluente EL Rocío) y el de menor altitud (0,23, efluente EL Pedregal), si se presentó una diferencia, pero no excede de 1.0 mg/L y cumple con lo estipulado en la Resolución 2115 de 2007 en el cual señala como valor máximo 10 mg/L.

Como se menciona adelante para nitrito, el nitrato (NO_3) es una forma común de nitrógeno inorgánico en sistemas acuáticos, en fuentes derivadas de las actividades humanas y en la disolución de yacimientos geológicos ricos en nitrógeno. El nitrato es poco tóxico y un nivel máximo de $2 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ ha sido propuesto como seguro para organismos acuáticos; además, la acción de bacterias *Nitrobacter*, permiten el paso de nitritos ($\text{NO}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2$) a nitratos (NO_3) que son formas asimilables por el fitoplancton (Rodríguez y Anzola, 2001).

Nitritos

Para este parámetro, tanto para invierno como para verano, no fluctuó para las tres fincas evaluadas, a nivel de afluente y de efluente. Se mantuvo estable y se registró un único dato $< 0.15 \text{ ppm}$ e igualmente el registro de 0.15 ppm , se mantuvo en el punto más alto (afluente EL Rocío) y en el más bajo (efluente El Pedregal); así el parámetro se encuentra por debajo del rango permisible de 0.25 mg/L según la resolución 2115 de 2007.

Referente al nitrito (NO_2), es una forma común de nitrógeno inorgánico en sistemas acuáticos y está naturalmente presente por causa de la deposición atmosférica en aguas superficiales lóxicas, en fuentes derivadas de las actividades humanas y en la disolución de yacimientos geológicos ricos en nitrógeno (Camargo y Alonso, 2006). Los niveles tóxicos de nitritos en cría de truchas, son aquellos superiores a 0.15 ppm , con efectos subletales que se manifiestan entre 0.10 y 0.30 ppm . Los nitritos en presencia de ciertas bacterias, produce

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

efectos tóxicos en los peces al convertir la hemoglobina en metahemoglobina, impidiendo el transporte de oxígeno a los tejidos, conocido comúnmente como “sangre achocolatada” (Alabaster y Lloyd, 1982; Jensen, 2003).

Los nitritos son de gran importancia por su alta toxicidad y por ser un poderoso contaminante, se generan por el proceso de transformación del amoníaco a nitratos y un parte depende de la temperatura y oxígeno disuelto del agua. Pereira y Mercant (2005) expresan que el nitrógeno es considerado uno de los nutrientes más importantes en el metabolismo de los ecosistemas acuáticos, debido a su participación en la formación de proteínas, pudiendo actuar como un factor limitante de la producción primaria de estos ecosistemas; tiende a ser tóxico cuando intervienen otras condiciones para los organismos acuáticos.

El pH y la temperatura regulan la proporción de amoníaco total que existe en la forma no ionizada (Rodríguez y Anzola, 2001). El aumento del pH y de la temperatura, pueden incrementar en general el porcentaje de productos nitrogenados, entre ellos los nitritos; que, para este caso, con la combinación de temperatura reducida del agua (10 a 11°C), el bajo pH (neutro a ligeramente alcalino) y la alta tasa de recambio del agua que normalmente se da en estanques truchícolas, hace que los compuestos nitrogenados se mantengan en bajas concentraciones, lo que evidencia un nulo impacto de la actividad sobre este compuesto.

En el cultivo de trucha, niveles de nitrato entre 0 y 40 ppm son seguros para los peces, valor superior a 80 puede causarles intoxicación (Claros, 2012). Los nitratos evidenciaron un bajo nivel en el agua, con muy poca variación entre las fincas, acorde con la normatividad vigente; la vegetación de ribera bien conservada aún en este sector del río, podría ayudar con la degradación de los nitratos y nitritos en el agua.

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Conclusiones

- A nivel de afluente-efluente, de cada finca evaluada, se comparó la calidad de agua en los diferentes parámetros, lo cual evidenció que la DQO y la DBO₅ son mayores a nivel de efluente, relacionado posiblemente con la mayor presencia de materia orgánica y de fosfatos en el agua; el COT y los fosfatos presentaron tendencia al aumento, los demás parámetros como OD, pH, nitritos, nitratos y sulfatos, en general permanecieron constantes.
- Al comparar la calidad de agua en los diferentes parámetros, entre el afluente de la granja de mayor altitud y el efluente de la granja de menor altitud, se pudo demostrar que el manejo de la materia orgánica es adecuado, lo cual se puede relacionarse con el adecuado diseño y funcionamiento de las lagunas de oxidación de las tres fincas. Los fosfatos presentaron tendencia al aumento, como algo inherente al proceso productivo de peces, pero en general los demás parámetros no presentaron grandes diferencias.
- Finalmente, se pudo determinar que las granjas productoras de truchas en este tramo del río Siecha, generan un impacto ambiental de baja magnitud, debido a su funcionamiento, reflejado en la calidad del agua para cultivar truchas y en las concentraciones permitidas a nivel de salubridad para el consumo humano.

Recomendaciones

- Para mitigar la concentración de fosfatos y COT en el agua a nivel de efluentes de las granjas, las cuales marcaron una tendencia ascendente, se debería realizar un constante mantenimiento a las lagunas de oxidación de las granjas, consistente en extraer los sedimentos para mantener una profundidad adecuada, que garantice la normal sedimentación de los sólidos suspendidos. Igualmente, implementar el uso de plantas acuáticas en estas lagunas, que coadyuven a la retención de los compuestos fosforados y nitrogenados.
- Implementar o mejorar el protocolo técnico de alimentación de las truchas en las fincas, tal que no se sobrealimente, una mala práctica que genera aporte de fósforo al medio acuático, pérdidas económicas al productor e impacto ambiental al recurso hídrico, debido a su gran poder eutroficante.
- Igualmente, implementar la toma de registros fisicoquímicos del agua con cierta regularidad, para realizar los correctivos pertinentes, sobre la calidad de la misma.

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA
EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Referencias

- Alves, R. y Baccarin, A. (2005). Efeito da produção de peixes em tanques-rede sobre sedimentação de material em suspensão e de nutrientes no córrego da arribada. Nova Avanhadava, 1: pp 329-347.
- Arregui Maraver, L. (2013). *El cultivo de la trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss)*. Madrid: Fundación Observatorio Español de Acuicultura.
- Avnimelech, Y, y Ritvo G. (2003). Shrimp and fish pond soils: processes and management. *Aquaculture*, 220: 549-567
- Azam F, Fenchel T, Field JG, Gray JS, Meyer-Reil LA, Thingstad F. (1983). The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar Ecol Prog Ser*. 10:257-263.
- Barbosa, A., Tafur Garzón, M. A., Villanueva Soto, M. A. y Cardona, T. (Eds.). (2007). *Buenas prácticas en la producción acuícola*. Colombia.
- Betancourt, L. A. y Garnica Tarazona, C. M. (2017). Estudio hidrológico y evaluación de demanda en la cuenca hidrográfica del embalse de Tominé.
- Blanco, M.C. (1995). La trucha, cría industrial. Editorial Mundi-Prensa. Madrid.
- Bolaños, J., Cordero, G., Segura, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica).
- Bolaños-Alfaro, J.; Cordero-Castro, G.; Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Tecnol Marcha (Costa Rica)*. 30(4): 15-27. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>.
- Boyd, C. E. (2018). La gestión adecuada del oxígeno disuelto el aspecto más importante de la gestión de la calidad del agua de los estanques acuícolas. Global seafood Alliance. Recuperado de: www.globalseafood.org/advocate/dinamica-del-oxigeno-disuelto/
- Boyd, C.E., Word, C. W. y Thunjai, T. (2002). Aquaculture pond bottom soil quality management. Oregon State University. Oregon, USA.
- Burbano-Gallardo, E., Duque- Nivia, G., Imues-Figueroa, M., González - Legarda, E., Delgado- Gómez, M. y Pantoja- Díaz, J. (2021). Efecto de cultivos piscícolas en los sedimentos y la proliferación de comunidades bacterianas nitrificantes en el lago Guamuez, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22 https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num2_art:1581

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Calderón, C., Bayona P., M., Bonilla, S. P., Guerrero León, M. A. y Calderón Sepúlveda, H. D. (2017). *Guía ambiental para el sector de la piscicultura*. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - Fedeaqua.

Camargo, J. A. y Alonso, A. (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environment International* (32): pp 831-849.

Caho-Rodríguez, Carlos Andrés y López-Barrera López-B Ellie Anne. (2017). *Determinación del índice de calidad de agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQII*. doi: 10.22507/pml.v12n2a3.

Castro Rebolledo, M. I. y Jaramillo Londoño, A. M. (2019). Comparación de la calidad del agua en dos ríos altoandinos mediante el uso de los índices BMWP/COL. y ABI. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 299-310. doi:10.15446/abc.v24n2.70716

Chamorro Legarda, E.; Morillo Noguera, M.; Burbano Criollo, E.; Casanova Díaz, D.; Mejía Morán, E.; Pecillo Nupan, I.A. (2012). Diseño, montaje y evaluación preliminar del desempeño de un sistema acuapónico, utilizando lechuga (*lactuca sativa*) y trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en un sistema de recirculación acuícola. *Revista Electrónica De Ingeniería En Producción Acuícola*, 6 Retrieved from <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/view/1515>.

Chávez, E. y Custodio, M. (2018). Quality of the aquatic environment of high andean rivers evaluated through environmental indicators: A case of the cunas river, Perú. *Ingeniare. Revista Chilena De Ingeniería*, 27(3), 369-409.

Claros, J.A. (2012). Estudio del proceso de Nitrificación y desnitrificación vía nitrito para el tratamiento biológico de corrientes de agua residual con alta carga de nitrógeno amoniacal (Tesis Doctoral) Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.

Conservation and Management, Piccolo, J., Lobon, J., & Unfer, G. (Eds.). (2017). *Section 6*

CORPOGUAVIO, IDEAM, y Syscol Consultores, S. A. S. (2019). Informe de caracterización de cuerpos hídricos de Guasca, Cundinamarca, Colombia.

Cotriño Peña, A. (2010). Modelación de nitrógeno en la cuenca alta del río Siecha para establecer procesos de transformación de nitrógeno.

Durán, L. E. G., Libre, U., y Socorro, S. (2016). Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos línea de investigación: Saneamiento ambiental 1 palabras clave A A.

ECOING LTDA. (2009). *Consultoría ambiental e ingeniería guía de aplicación de lodos de piscicultura en suelos*. Chile

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero, FONDEPES (2014). Manual de crianza de trucha en ambientes convencionales. 88 pág. Lima-Perú.

Gil, Z. E. R., Rodríguez, L. Á C., Rodríguez, J. L. V. y Soler, X. D. (2015). Bioindicadores de la calidad del agua en áreas con restauración ecológica de la quebrada la colorada, Villa de Leyva, Boyacá. *Investigación, Innovación, Ingeniería III*, 2(2), 10-27. doi:10.24267/23462329.108

González Aportela, O. y Murga Paulino, L. R. (2020). Evaluación de metales pesados en ríos y truchas *Oncorhynchus mykiss* de la región Pasco, Perú. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 3(2), 32-48. <https://doi.org/10.46380/rias.v3i2.9>.

González, C. (2017) Biocontrol de la saprolegniosis por *Saprolegnia parasitica* en trucha arco iris utilizando bacterias aisladas de peces continentales y marinos.

González-Legarda, E. (2017). *Impacto ambiental de la acuicultura intensiva en los componentes agua y sedimento en el lago Guamuez, Nariño.*

González Meléndez, V., Caicedo Quintero, O. y Aguirre Ramírez, N. (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada la Ayurá, Antioquia, Colombia. *Gestión Y Ambiente*, 16(1), 97-107.

González, H. J. y Segovia, M. (2017). Efecto de cuatro pretratamientos en la digestión anaeróbica y la remoción de nutrientes de efluentes, de un sistema de recirculación acuicola. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(2), 276-292. doi:10.3856/vol45-issue2-fulltext-4

González, J.A. (2015). Caracterización de sedimentos producidos en una explotación intensiva de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792), como un medio para definir estrategias de uso y manejo sostenible de lagunas de oxidación en piscicultura. Tesis de Grado, maestría en ciencia animal. Universidad de La Salle.

Gualdrón Durán, L. E. (2018). Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros físicoquímicos y biológicos. *Dinámica Ambiental*, (1), 83-102. doi:10.18041/2590-6704/ambiental.1.2016.4593

Hoyos Chaverra, M. A., Rodríguez Barrientos, D. A. y Torres Quintero, J. E. (2018). Evaluación del recurso hídrico superficial en la subcuenca hidrográfica del río frío en el departamento de Cundinamarca: Oferta, demanda Y calidad del agua. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 9(1), 127-136. doi:10.22490/21456453.2075

Hoshina, T. y Ookuba, M. (1956). On a fungal disease of eel. *Journal of the Tokyo University of fisheries*. 42: 1-13

Klontz G. (1991) Producción de trucha arcoíris en granjas familiares. México D.F.: Alimentos de Alta Calidad El Pedregal, S.A.

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Jamal, M. T., Broom, M., Al-Mur, B. A., Al Harbi, M., Ghandourah, M., Al Otaibi, A. y Haque, M. F. (2020). Biofloc technology: Emerging microbial biotechnology for the improvement of aquaculture productivity.

Ladino, G. (2011). Dinámica del carbono en estanques de peces. Vol 15. págs. 48-61

Luna, M., Campos, A. y Medina, F. (2016). Evaluation of the wastewater from the washing of multipurpose ponds with rainbow trout farming (*Oncorhynchus mykiss*). *Corpoica cienc. tecnol. agropecu.* [online]. 2016, vol.17, n.2, pp.191-202. ISSN 0122-8706.

Luna Imbacuán, M. A., Campos Bermúdez, F. y Medina Gutiérrez, O. (2016). Evaluación de las aguas residuales del lavado de estanques multipropósito con cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). *Gestión Y Sostenibilidad Ambiental*, 191-202.

Luna, T., Park, J., Renukdas, N. y Roy, L. (2017). Evaluating biofloc technology for intensive culture of fathead minnows. Retrieved from www.aquaculturealliance.org

Mariano, M., Huaman, P., Mayta, E., Montoya, H., & Chanco, M. (2010). Contaminación producida por piscicultura intensiva en lagunas andinas de Junín, Perú. *Revista Peruana De Biología*, 17(1) doi: 10.15381/rpb. v17i1.63

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - Ministerio de la Protección Social. (2007). *Resolución 2115 de 2007*. Colombia:

Moga, I. C., Petrescu, G., Doroftei, B. I. y Buzea, R. (2019). Water management applied in recirculating aquaculture systems. 357-364. Retrieved from <https://explore.openaire.eu/search/publication?articleId=doajarticles::23635dd741e88958aaf6c265d53c2aa3>

Norma Técnica Colombiana NTC 5700. (2014). Buenas Prácticas de Producción de la Acuicultura (BPPA) En: Good practice aquaculture production -gpap correspondencia.

Ocara, M., Vieille, P., Carvajal, L. y Cruz, R. (2019). Los Hongos en la salud y la enfermedad. Parte I. *Boletín Micológico*, 33(2), 1-9. <https://doi.org/10.22370/bolmicol.2018.33.2.1370>

Olarte Duran, A. Z. y González Suarez, D. A. (2018). Determinación del tratamiento y la calidad de agua utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores. *Dinámica ambiental*, 2(2), 9-26.

Ordóñez-Díaz, M.C., Bravo-Realpe, I.; Figueroa-Casas, A. (2014). Flujo de Carbono Orgánico Total (COT) en una Cuenca Andina: caso subcuenca Río Las Piedras. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín (Colombia)*. 13(24):29-42.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). *Manual Piscícola FAO*. Guatemala:

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Ovando Solís, M. (2013). La acuicultura y sus efectos en el medio ambiente. *Revista espacio I+D innovación más desarrollo* (pp. 61-80) Universidad Autónoma de Chiapas. doi:10.31644/IMASD.3. 2013.

Páez, C. (2001). Informes de prevalidación de la Demanda Química de Oxígeno – técnica volumétrica – método de reflujo cerrado. IDEAM, Santafé de Bogotá.

Pardo, S., Suárez, H. y Soriano, E. (2006). Tratamiento de efluentes: una vía para la acuicultura responsable. *Revista MVZ Córdoba, 11*(Suplemento 1), 20-29. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1041>

Peña Cotrino, C. A. y Quijano Prieto, D. M. (2010). Modelación de nitrógeno en la cuenca alta del Río Siecha para establecer procesos de transformación de nitrógeno. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/687

Piccolo, J. y Lobon Cervia, J. (2017). *Brown trout: Biology, ecology and management: Biology, ecology and management*. Newark: John Wiley & Sons, Incorporated. Retrieved from <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecausta-ebooks/detail.action?docID=5107287>.

Ponce Álvarez, S., Quino Favero, J., Gutarra Espinoza, A. y Rodríguez-Rodríguez, J.M. (2019). Mejoramiento de la calidad del agua utilizada en la crianza de truchas mediante el uso de pellets fabricados a partir de los desechos de las conchas de abanico y langostinos, para la remoción de metales pesados. En *Proyectos de investigación 2019* (p.76). Universidad de Lima.

Quijano, A., Navia, J. y Portilla, M. (2014). Contaminantes prioritarios en truchas arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) del municipio de Mutiscua, Norte de Santander, Colombia. *Temas Agrarios, 19*(2), 194-205. doi:10.21897/rta. v19i2.734

Quiñonez Sánchez, J. (2014) Análisis de la cadena agroalimentaria de la trucha en Colombia. Tesis de grado. Universidad de la Salle.

Raffo Lecca, E.; Ruiz Lizama, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, vol. 17, núm. 1, enero-junio, 2014, pp. 71-80, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

Rodríguez, H. y Anzola, E. (2001). La calidad del agua y la productividad de un estanque en acuicultura. En: *Fundamentos de Acuicultura Continental*, 43 - 73. H. Rodríguez, P. Daza y M. Carillo (Eds). Bogotá.

Rodríguez, H. (2008). Estudios de Impacto ambiental, Guía Metodológica.

Sanabria, L. (2019). Factores causantes de deterioro del Lago de Tota, asociados con actividad agroindustrial. Revisión bibliográfica. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca.

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

Sánchez, I., S. O., Revelo, D., Burbano y Á E. Guerrero, C. (2013). Eficiencia de consorcios microbianos para tratamiento de aguas residuales en un sistema de recirculación acuícola. Enero -junio.

Solla (2014). Manual peces de aguas frías. Ed. Grafiformas. Bogotá. 84p.

Subdirección de Gestión Ambiental - CORPOGUAVIO. (2017). Histórica caracterización de cantidad y calidad del agua -municipio Guasca, Cundinamarca. Colombia.

Tebbutt, T.H. (2008). Principles of water quality control. Pergamon Press Ltd. 240 p. UK.

Thunjai, T., Boyd, C.E. y Boonyaratpalin, M. (2004). Bottom soil quality in tilapia ponds of different age in Thailand. *Aquaculture Research*, 2004, 35, pp 698-705.

Toor, H.S., Sehgal, H y Sehdev, R.S.(1983). A case study of acute fish diseases in tanks loaded with high levels of organic manure. *Aquaculture*, 35; 277-282.

Torres, Barrera NH, y Grandas, Rincón IA. (2017) Estimación de los desperdicios generados por la producción de trucha arcoíris en el lago de Tota, Colombia. *Corpoica, Gestión y sostenibilidad ambiental*. 18 (2): 247-255

Ulloa, R. (2015). El efecto de dos porcentajes de recirculación de agua en el cultivo de camarón. Tesis Universidad Técnica de Machala.

Van Lier, J. B., Mahmoud, N., Zeeman, G. (2018). Tratamiento anaerobio de aguas residuales 16.1.1 definición y beneficios ambientales de los procesos anaerobios.

Vásquez Quispesivana, W., Talavera Núñez, M. e Inga Guevara, M. (2015). Evaluación del impacto en la calidad de agua debido a la producción semi intensiva de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes. *Revista De La Sociedad Química Del Perú*, 82(1), 15-28. doi:10.37761/rsqp. v82i1.41

Vega, R., Zamorano, J., Encina, F. y Mardones, A. (2015). Efecto del calcio sobre la toxicidad aguda de aluminio en alevines de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) expuestos en aguas de diferente pH. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 43(2), 337-343. doi:10.3856/vol43-issue2-fulltext-10

Zhang, M.; Muñoz-Mas, R.; Martínez-Capel, F.; Qu, X.; Zhang, H.; Peng, W.; Liu, X. (2018). Determining the macroinvertebrate community indicators and relevant environmental predictors of the Hun-Tai River Basin (Northeast China): A study based on community patterning. *Sci. Total, Environ (Holanda)*. 634:749-759. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.021>.

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA
EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

CIBERGRAFÍA

Maraver, L. (mayo 2 de 2020) Cuaderno de acuicultura, El cultivo de la trucha arco iris
(*Oncorhynchus mykiss*) Recuperado de [www.observatorio-
acuicultura.es/recursos/publicaciones](http://www.observatorio-acuicultura.es/recursos/publicaciones)

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA
EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA

ANEXOS

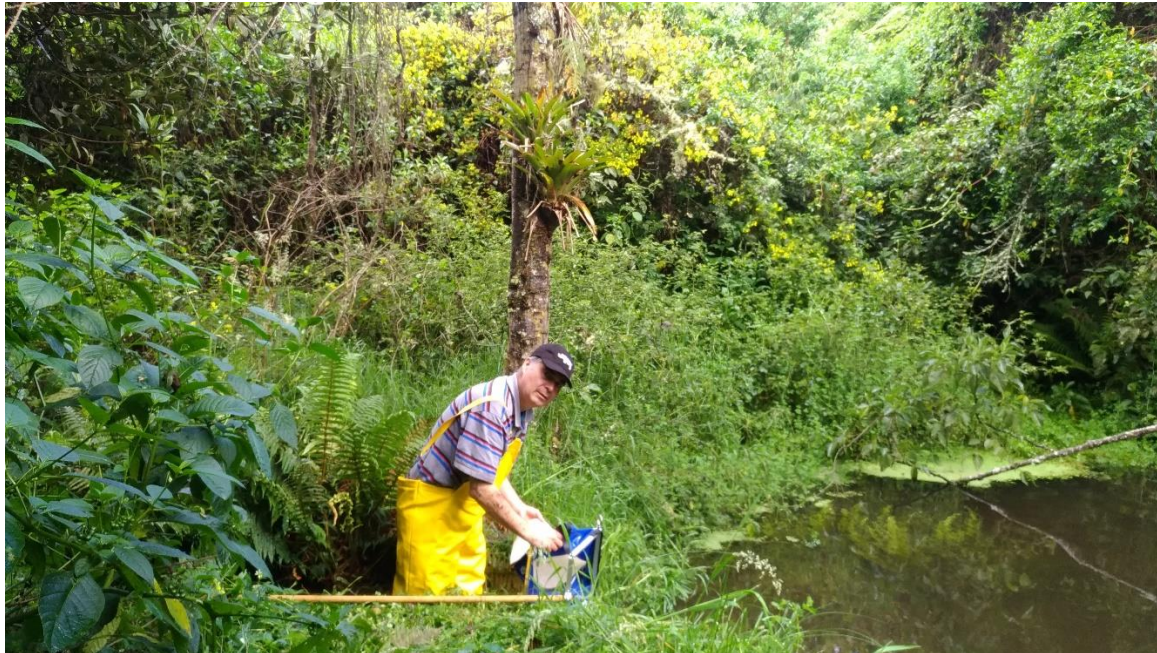


Anexo 1. Zona de afluente de la finca El Rocío, río Siecha.



Anexo 2. Zona del afluente de la finca Villa del Río, río Siecha.

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA
EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA



Anexo 3. Zona del afluente de la finca El Pedregal, río Siecha.



Anexo 4. Manejo y rotulado de las muestras de agua.

EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE TRUCHA, SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA
EN EL RÍO SIECHA, GUASCA, CUNDINAMARCA



Anexo 5. Embalaje final de las muestras de agua, en bolsa oscura y en nevera.