

**SELECCIÓN Y DISEÑO DE ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE
AFLUENTES Y EFLUENTES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA
CASO TRUCHA EN EL MUNICIPIO DE SILVIA CAUCA**

**JOSÉ JULIÁN YASNÓ VARILA
CÉSAR AUGUSTO GARCÍA RENDÓN**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
INGENIERIA AMBIENTAL
POPAYÁN
2007**

**SELECCIÓN Y DISEÑO DE ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE
AFLUENTES Y EFLUENTES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA
CASO TRUCHA EN EL MUNICIPIO DE SILVIA CAUCA**

**JOSÉ JULIÁN YASNÓ VARILA
CÉSAR AUGUSTO GARCÍA RENDÓN**

**Trabajo de Grado
Para optar el título de Ingeniero Ambiental**

**Director
JAVIER ERNESTO FERNANDEZ MERA
Ingeniero Sanitario. M.Sc.**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
INGENIERIA AMBIENTAL
POPAYÁN
2007**

Nota de Aceptación

Director Ing. Javier Ernesto Fernández M.Sc.

Jurado 1

Jurado 2

A mis padres por todos sus sacrificios.

A Lili por su apoyo incondicional.

A mis amigos por darme la oportunidad de aprender de ellos.

Y en especial a todas las personas que creyeron en mí.

César Augusto García Rendón

A Dios por darme la oportunidad de culminar mis estudios

A mis padres por su ejemplo de vida, esfuerzo, dedicación y apoyo incondicional durante toda mi vida.

A mis hermanos por brindarme su comprensión y apoyo en mis decisiones.

A Marcela por su compañía en todo momento.

A mis familiares y amigos que de una u otra manera pusieron su granito de arena para que este sueño se hiciera realidad.

José Julián Yasnó Varila

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por permitirnos terminar con éxito esta etapa de nuestras vidas

Gracias a nuestros padres y hermanos por su apoyo y colaboración incondicional

A nuestro director Ing. Javier E. Fernández Msc. Por su dedicación, colaboración y apoyo en la orientación de este trabajo.

Al CREPIC y la UMATA del Municipio de Silvia Cauca, por la oportunidad brindada y depositar su confianza en nosotros.

A Elizabeth Ruano, Sandra Rebolledo y Maria Eugenia Ledezma funcionarias del CREPIC, por su colaboración y apoyo durante la realización del proyecto

A Manuel Tombe y José E Fernández funcionarios de la UMATA, por su desinteresada colaboración durante todo el proyecto.

A Weimar Corpus Mera, dueño de la piscícola Quintero, por abrirnos las puertas de su piscícola para la realización de este trabajo.

Al Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil, por facilitarnos los medio para la ejecución del proyecto.

Al Laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Cauca, por permitir el desarrollo de este trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	
1. PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	17
2. OBJETIVOS	19
2.1. OBJETIVO GENERAL	22
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	22
3.1. CONDICIONES DE VIDA DE LA TRUCHA	23
3.1.1. Tipo de Alimento	23
3.1.2. Características del agua	24
3.1.2.1. Cantidades de agua requerida	25
3.1.2.2. Temperatura	25
3.1.2.3. Oxígeno disuelto	25
	26

	27	4.3.1. Evaluación d físicoquímica y mic del efluente principal p agua de lavado de
3.1.2.5. Sólidos y turbiedad		
3.2. POSIBLES CONTAMINANTES QUE SE GENERAN EN LA PRODUCCIÓN DE TRUCHA		4.3.2. Aforos de ca efluente principal y lavado 27
3.3. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS		
3.3.1. Tratamiento de Afluentes		28
3.3.2. Tratamiento de Efluentes		29
4. METODOLOGÍA		30
4.1 CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL ESTUDIO		31
4.2. OBJETIVO 1		34
4.2.1. Inspección Sanitaria		34
4.2.2. Seguimiento de Calidad Físicoquímica y Microbiológica del Agua		41
4.2.3. Aforos de Caudal		41
4.2.4. Selección y Diseño de Alternativa de Tratamiento		41
4.3. OBJETIVO 2		42
		43

	43	5.2.2.3. Sólidos Suspendidos
	43	
	45	5.2.2.4. Turbiedad
4.3.3. Selección y diseño de alternativa de tratamiento para el efluente piscícola		
		5.2.2.5. Color Real
4.4. OBJETIVO 3		
4.4.1. Cuantificación del lodo generado por la estación piscícola		45
4.4.2. Dimensionamiento de los lechos de secado de lodos		45
5. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		46
5.1. INSPECCIÓN SANITARIA		46
5.2. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE TRUCHA		47
5.2.1. Aforos o Estimación de Caudal		47
5.2.2. Análisis Parámetros Físicoquímicos del agua		48
5.2.2.1. Oxígeno Disuelto (OD)		48
5.2.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO)		49

	49	
		6.1.1. Sedimentador Primario
	51	
		6.1.2. Filtro Grueso Dinámico
	53	
		6.1.3. Filtración Gruesa de Flujo Ascendente
	55	
5.2.2.6. Nitratos	57	
5.2.2.7. Fosfatos		
5.2.2.8. Coliformes Fecales		
5.2.2.9. pH		6.2. TRATAMIENTO DE AGUA DE LAVADO
5.2.3. Análisis Efluente de lavado proveniente de un solo estanque		
5.2.3.1. OD, DBO y DQO obtenidos durante el lavado		
5.2.3.2. SST obtenidos durante el lavado		6.2.1. FAFA
5.2.3.3. Turbiedad obtenida durante el lavado		58
6. DISCUSIÓN ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO		60
6.1. TRATAMIENTO DE AFLUENTE		61

	62	7.1. FILTRO GRUES O
	64	ASCEN DENTE EN
	65	CAPAS
	66	7.2. SEDIM ENTAD
	68	OR PRIMA RIO
	69	
	70	7.3. LECHO DE
	70	SECAD O DE LODOS
	70	
	71	8. CONCL USION ES
	71	
	71	RECOM ENDAC IONES
6.2.2. Humedales Artificiales		BIBLIO GRAFIA
6.2.3. Sedimentador Primario		
7. DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS SELECCIONADOS		ANEXO S

A. VALORES DE AFORO DE CAUDAL UN CADA UNA DE LAS FECHAS DE MUESTREO		94
B. VALORES DE LOS DIFERENTES PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS		96
C. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA CADA PARÁMETRO MEDIDOS CON UNA CONFIABILIDAD DE 95 %.		99
D. METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS		103
	72	E. CRITERIOS DE SELECCIÓN BOCATO PARA AGUA POTABLE SEGÚN EL RAS
	72	
	74	
	74	
	79	
	84	
	86	
	87	F. DISEÑO HIDRÁULICO O FILT
	88	
	94	

RO GRUESO ASCENDENTE	105
G. DISEÑO HIDRÁULICO SEDIMENTADOR PRIMARIO	112
H. DIMENSIONAMIENTO LECHO DE SECADO DE LODOS	117
I. ACCESORIOS DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS	118
J. MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS SELECCIONADOS.	121

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características fisicoquímicas del agua para el cultivo de trucha	20
Tabla 2. Cantidad de agua requerida por la trucha según su etapa de crecimiento y la cantidad peces en el estanque	25
Tabla 3. Requerimientos de oxígeno disuelto en el agua	26
Tabla 4. Incidencia del pH en el cultivo de trucha	27
Tabla 5. Resultado de las experiencias realizadas por Petit (1978)	28
Tabla 6. Características del alimento suministrado en la estación piscícola de Quintero según la etapa de crecimiento del pez	35
Tabla 7. Parámetros de medición para caracterización fisicoquímica	42
Tabla 8. Aforos de caudal para los diferentes puntos de muestreo	49
Tabla 9. Estadística Descriptiva del Oxígeno Disuelto para cada punto de Muestreo	49
Tabla 10. Estadística Descriptiva de la DQO y DBO para cada punto de Muestreo	51
Tabla 11. Estadística Descriptiva de los Sólidos Suspendidos para cada punto de Muestreo	53
Tabla 12. Estadística Descriptiva de la Turbiedad para cada punto de Muestreo	55
Tabla 13. Estadística Descriptiva del Color Real para cada punto de Muestreo	57
Tabla 14. Estadística Descriptiva de Nitratos para cada punto de Muestreo	58

Tabla 15. Estadística Descriptiva de Fosfatos para cada punto de Muestreo	60
Tabla 16. Estadística Descriptiva de Coliformes Fecales para cada punto de Muestreo	61
Tabla 17. Estadística Descriptiva de pH para cada punto de Muestreo	62
Tabla 18. Valores de Parámetros fisicoquímicos en el agua de lavado de estanques	65
Tabla 19. Especificaciones del lecho filtrante y su ubicación en el filtro grueso ascendente en capas	75

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación Geográfica resguardo Indígena de Pitayó	
Figura 2. Flujo de proceso piscicultura de Quintero	
Figura 3. Sección 1 Estación piscícola de Quintero con su respectiva distribución	
Figura 4. Sección 2 Estación piscícola de Quintero con su respectiva distribución	
Figura 5. Esquema general de la estación piscícola de Quintero con ubicación de los puntos de aforo y muestreo	34
Figura 6. Variación de OD durante el periodo de muestreo	36
Figura 7. Variación de DBO durante el periodo de muestreo	38
Figura 8. Variación de DQO durante el periodo de muestreo	40
Figura 9. Variación de Sólidos Suspendidos durante el periodo de muestreo	44
Figura 10. Variación de Turbiedad durante el periodo de muestreo	50
Figura 11. Variación de Color Real durante el periodo de muestreo	51
Figura 12. Variación de Nitratos durante el periodo de muestreo	52
Figura 13. Variación de Fosfatos durante el periodo de muestreo	54
Figura 14. Variación de Coliformes fecales durante el periodo de muestreo	56
Figura 15. Variación de pH durante el periodo de muestreo	58
Figura 16. Comportamiento de OD, DBO y DQO en el lavado del estanque	58

	59	
	60	
	62	
	63	
	66	
Figura 17. Comportamiento SST durante el lavado del estanque		67
Figura 18. Comportamiento de Turbiedad durante el lavado del estanque		68
Figura 19. Planta Filtro Grueso de Flujo Ascendente		76
Figura 20. Corte AA, Filtro Grueso de Flujo Ascendente		77
Figura 21. Corte BB, Filtro Grueso de Flujo Ascendente		78
Figura 22. Planta Sedimentador Primario		81
Figura 23. Corte AA. Sedimentador Primario		82
Figura 24. Corte BB. Sedimentador Primario		83
Figura 25. Planta Lecho de Secado de Lodos		85
Figura 26. Corte AA' Lecho de Secado de Lodos		85

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Pág.

	37
	47
Fotografía 1. Lavado de Estanques	47
Fotografía 2. Río Quintero aguas arriba de la estación piscícola	48
Fotografía 3. Laderas del río Quintero	75
Fotografía 4. Cultivos aguas abajo de la estación piscícola	80
Fotografía 5. Lote Ubicación del Filtro en Grava	
Fotografía 6. Ubicación del Sedimentador	

INTRODUCCIÓN

La acuicultura en Colombia ha tenido un crecimiento continuo en los últimos 10 a 15 años, con un registro de producción para 1986 de 1.256 toneladas, para 1998 de 45.930 toneladas y para el 2.000 de 31.659 toneladas, presentándose como una actividad interesante, y según reportes de la FAO (2003) la acuicultura está siendo considerada a nivel mundial como uno de los sistemas de producción de alimentos con mayor desarrollo, visualizándose una tasa de crecimiento promedio anual del 9 %.

Una de las especies de peces más cultivadas en nuestro país es la trucha Arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), que es una especie foránea con una continua renovación a través de las importaciones masivas de ovas desde los sitios de producción en Estados Unidos, hacia zonas de cultivo de alta montaña en Colombia.

En el departamento del Cauca, específicamente en el sector rural de Silvia se presenta gran desarrollo de la piscicultura familiar y el florecimiento de empresas comerciales, pero como desventajas se presentan bajos rendimientos de producción y tecnificación en los pequeños y medianos productores e ignorancia en los campesinos que desean iniciar la explotación acuícola, aunque cuentan con los recursos naturales desconocen la tecnología.

De otra parte, el sector de la acuicultura no tiene una gran conciencia sobre los aspectos medioambientales de su actividad, ni un gran conocimiento sobre los efectos causados por los residuos generados en el proceso de producción piscícola.

Los residuos principales de la acuicultura en su funcionamiento están relacionados con el alimento, excretas, químicos y drogas utilizadas para el control de enfermedades y parásitos, como los descritos por Ackefors y Enell (1990, 1994). Los residuos derivados del alimento incluyen componentes que o se disuelven, como el fósforo y nitrógeno, o están en la fase sólida como los sólidos suspendidos, descritos por Losordo y Westers (1994).

Dada la situación ambiental actual del sector, se deben buscar alternativas basadas fundamentalmente en la modificación de las actuales condiciones de

operación de las instalaciones de cultivo. La minimización de sus efectos sobre el medio va a depender de la adopción de las mejores técnicas enfocadas básicamente a la prevención y reducción de la contaminación del agua y la contaminación generada por los residuos.

De esta manera, la presente investigación realizada en el municipio de Silvia Cauca específicamente en la piscícola Quintero ubicada en el resguardo indígena de Pitayó, pretende estudiar las condiciones en las cuales se está presentando la producción de trucha desde el punto de vista de calidad de agua y los posibles efectos que esta pueda ocasionar sobre la cuenca del río Quintero, lugar donde son descargados los residuos de la piscícola. Por consiguiente, para dar solución a estas inquietudes, se realiza un análisis fisicoquímico al agua de abastecimiento utilizada durante todo el proceso productivo y a los efluentes generados en la piscícola y si es el caso, buscar alternativas de tratamiento de agua que permitan mejorar las condiciones de producción y minimizar el impacto ambiental, proporcionando un pequeño aporte para una piscicultura eficiente y sostenible.

1. PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La piscicultura, definida como aquella actividad dedicada al cultivo de peces bajo manejo e implementación de buenas prácticas (desarrollo genético, incubación, alimentación, reproducción y sanidad de las especies), ha crecido de manera considerable durante las últimas décadas. De hecho, en los últimos 20 años la producción mundial de especies como la tilapia, trucha y cachama han crecido a ritmos de 12%, 6% y 29%, respectivamente (FAO, 2003).

La producción nacional de peces de cultivo concierne principalmente a las especies de tilapia, trucha y cachama, con una contribución del 49%, 16% y 31% respectivamente, cuya participación conjunta durante los últimos 12 años ha sido del 96,3% del total de la piscicultura, donde esta actividad reportó para el año 2003 un total de 28.530 toneladas de pescado y para el año 2004 se proyectó por encima de 30.000 toneladas (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2005).

Dentro del proceso de producción piscícola se generan residuales sobre todo en épocas de cosecha, que usualmente se descargan en una fuente natural sin ningún tratamiento previo. Estos residuales, generalmente están compuestos por residuos orgánicos en su mayoría provenientes de las excretas de los peces, pues se ha determinado que la digestibilidad del material seco, usado como alimento, es del orden del 70 al 75%, lo cual significa que entre el 25 y el 30 % se convierte en residuo fecal (Kubitza, 1999), y gran abundancia de sólidos suspendidos como consecuencia de la resuspensión de lodos en el momento de la cosecha. Todos estos factores generan en la fuente natural problemas en donde la materia orgánica consume el oxígeno disuelto en el agua generando procesos de eutroficación que puede traer como consecuencia, mal sabor y olor del agua, cúmulo de algas que resulta estéticamente poco agradable, crecimiento denso de plantas con raíces, agotamiento del oxígeno en las aguas más profundas y acumulación de sedimentos en el fondo de los lagos, así como otros cambios químicos, tales como precipitación del carbonato de calcio en las aguas duras (Flores H, 1995).

De esta manera, teniendo en cuenta que la demanda de agua en miles de m³ por año para la actividad pecuaria es de 509.336, lo que corresponde al 8,8% de la demanda nacional (5.785.765 miles de m³ por año) (Ministerio de Medio Ambiente 2005), y el rápido crecimiento que presenta la actividad pecuaria en el país, es claro que la producción piscícola puede generar problemas ambientales de igual

proporción, por consiguiente, es importante generar procesos que permitan disminuir al máximo estos impactos. La solución a estas problemáticas se debe centrar en el estudio de alternativas para el tratamiento de aguas residuales generadas en estaciones piscícolas, que permitan la utilización de las aguas en otros procesos productivos, y/o tener una calidad de vertimiento tal, que afecte lo menos posible las fuentes naturales receptoras.

Para el cultivo de algunas especies de peces como la trucha Arco iris perteneciente a la familia de los salmónidos, se necesitan unas exigencias considerablemente altas en lo que se refiere a la calidad del agua. Esto condiciona, en definitiva, la instalación de estaciones piscícolas que tengan por objetivo el cultivo de dicha especie. En la Tabla 1 se presentan las características de la calidad de agua que requiere la trucha Arco iris, recomendadas por Aguayo (2003).

Tabla 1. Características fisicoquímicas del agua para el cultivo de trucha.

Parámetro	Rango de Valor recomendado
Temperatura del agua	10 – 16°C
Oxígeno disuelto	6,5 – 9 mg/L
pH	6,5 – 8,5
Dureza	50 - 250 mg/L
Amoniaco	1 mg/L
Nitratos	0 - 5 mg/L
Sólidos en suspensión	< 30 mg/L
Dióxido de carbono	0-2 mg/L
Fosfatos	0 – 9,9 mg/L
Turbiedad	0 - 6 UNT

AGUAYO. C, 2003

Según Aguayo (2003), se tiene que en general la trucha presenta un estrecho margen de adaptabilidad en las variaciones de algunos parámetros fisicoquímicos del agua. En nuestro medio, el agua natural se caracteriza por tener una calidad aceptable pero no constante, teniendo como consecuencia variaciones en su estado de calidad, estas alteraciones se presentan generalmente en las temporadas de lluvias, en donde las fuentes de agua incrementan sus contenidos de sólidos suspendidos y algunos contaminantes orgánicos arrastrados por la lluvia, los cuales podrían ser perjudiciales en la producción de la trucha principalmente en sus primeras etapas de crecimiento, debido a que las partículas transportadas por el agua quedan retenidas entre los huevos, recubriendo su membrana externa, lo que ocasiona la obstrucción de los poros microscópicos a través de los cuales el embrión recibe el oxígeno disuelto del agua. Los alevines

criados en estas condiciones, aunque la turbidez sea ocasional y de escasa duración en el tiempo, sufren alteraciones fisiológicas al depositarse estas partículas en la superficie branquial, dificultando la respiración, con consecuencias inmediatas o tardías sobre la supervivencia (Warrer-Hansen, 1982).

En este contexto, para el éxito de una granja de producción de trucha la calidad del agua es fundamental, siendo el parámetro más importante para monitorear continuamente, por tal razón, es importante definir los parámetros técnicos para la construcción de una alternativa de tratamiento eficiente que permita garantizar una fuente de agua libre de contaminantes en cualquier temporada del año.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Contribuir al proceso de producción piscícola con el desarrollo de alternativas de tratamiento para el mejoramiento de la calidad del afluente utilizado y del efluente generado en la producción de trucha, para el mejoramiento de la productividad y la minimización del impacto ambiental.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Proponer y diseñar un sistema de tratamiento para mejorar la calidad de agua utilizada en la producción de trucha.

- ❖ Proponer y diseñar un sistema de tratamiento para mejorar la calidad de agua del efluente generado en el proceso de producción de trucha.

- ❖ Proponer y diseñar un sistema de tratamiento para el manejo de los lodos provenientes de las alternativas diseñadas con anterioridad con el fin de que estos lodos no sean dispuestos al río o lugares sin su respectiva estabilización.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La especie de trucha de mayor importancia en acuicultura es la trucha Arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) originaria de la vertiente del pacífico de Norteamérica, esta especie ha sido introducida desde 1874 en aguas de todos los continentes excepto en la Antártica, su área de distribución se extiende a las latitudes bajas, alturas elevadas. En las tierras altas de muchos países tropicales y subtropicales de Asia, África Oriental y América del Sur se mantienen aguas para trucha, y la truchicultura industrial se ha desarrollado en América Central y del Sur y en un grado limitado en algunos países de Asia y África, como la India y Kenia.

Las dos variedades principales de la trucha Arco iris son la forma marina conocida como “cabeza de acero” y la forma de agua dulce. La primera crece con gran rapidez en agua salada, ya que en el mar alcanza un peso de 6 a 9 Kg en unos tres años. La forma de agua dulce, que es la más cultivada comercialmente en la actualidad, alcanza un peso de 4,5 Kg o más en condiciones favorables, Sedgwick (1985) menciona que esta forma llega a pesar hasta 9 Kg en los Andes, lo que indica el potencial de la especie en condiciones adecuadas. Incluso en condiciones normales la trucha Arco iris crece más rápido que el resto de las truchas y muestra una mayor docilidad a la cautividad, tolerancia y adaptación social a la alta densidad poblacional, con comportamientos menos agresivos que la trucha común. Tiene un amplio margen de adaptación a las temperaturas de las aguas y a las diversas condiciones ambientales de los recintos artificiales donde se encuentra confinada, acudiendo con gran avidez a la distribución del alimento.

La temperatura óptima del agua en una granja de trucha Arco iris es menor de 21°C, pero el límite letal se encuentra en temperaturas de 25 a 27°C, en la cual es posible que los animales sobrevivan cortos periodos pero no crecen ni son activos. Las truchas son peces poiquiloterms, lo que significa que la temperatura del agua, es la misma que tiene el pez, modificándose en el mismo sentido. Los cambios bruscos de temperatura son muy mal tolerados, por lo que a nivel industrial se necesitan aguas estables, con escasas variaciones térmicas diarias y preferentemente temperaturas de 15°C, consideradas óptimas para el engorde y crecimiento de la trucha Arco iris (Roberts, 1981).

3.1. CONDICIONES DE VIDA DE LA TRUCHA

El agua es un elemento esencial para la vida de los seres vivos. Dependiendo de su asentamiento ambiental y dinamismo, esta agua difieren unas de otras por sus características físicas, químicas y biológicas y el conjunto determina lo que llamamos un ecosistema acuático. Cada ecosistema va a delimitar las especies acuáticas que en él pueden vivir, pues todas ellas tienen un óptimo de existencia, más o menos amplio, donde su fisiología y reproducción se desenvuelven con toda normalidad. Disponen las especies de una capacidad variable de resistencia y adaptaciones más o menos adversas que, en definitiva, van a determinar su supervivencia o bien la colonización de nuevos y variados ecosistemas acuáticos.

Las truchas son peces muy estrictos en cuanto a las condiciones del medio acuático en donde viven, y con muy poca capacidad para adaptarse a otras situaciones que no sean las propias naturales. Esto restringe su existencia a aguas claras y cristalinas, de curso rápidos y temperatura frías.

3.1.1. Tipo de Alimento

En la truchicultura se utilizan alimentos artificiales balanceados puesto que la trucha Arco iris es una especie carnívora. Como nutrientes necesarios se puede citar proteínas, hidratos de carbono, grasas, minerales, fibras y vitaminas.

Para estimar la cantidad de alimento a suministrar diariamente a un estanque o jaula, se debe tener en cuenta la temperatura del agua, estadio del pez y biomasa total por estanque. Hay que tener en cuenta que la calidad y rendimiento del alimento se puede medir a través del índice de conversión alimenticia (cantidad de alimento que come y se transforma en peso vivo).

En una dieta normal, algunos componentes del alimento resisten la acción del proceso digestivo y no son absorbidos, siendo eliminados en forma de heces aproximadamente el 13% de la proteína, 8% de grasa, 40% de el hidrato de carbono, 17% de materia orgánica, 50% de cenizas, y 23% de materia seca (Hillestad, y Johnsen, 1994).

En los recientes años se ha mejorado la calidad del alimento en cuanto a la bio-disponibilidad del fósforo y proteínas, a las más bajas concentraciones. El desarrollo de 'dietas altamente energéticas' con elevado contenido de grasa y con niveles reducidos de carbohidratos y proteínas, mejora la digestibilidad que tiene como resultados, la disminución significativa del alimento desechado por los peces (Hillestad, y Johnsen, 1994).

3.1.2. Características del agua

3.1.2.1. Cantidades de agua requerida

La cantidad de agua requerida para la producción de trucha, va a estar condicionada por el tamaño del pez y la cantidad de animales a cultivar como lo muestra la tabla 2, según los estudios realizados por MacMillan, (1992).

Tabla 2. Cantidad de agua requerida por la trucha según su etapa de crecimiento y la cantidad de peces en el estanque

ETAPA DE CRECIMIENTO	CAUDAL REQUERIDO (L/min)	CANTIDAD DE ANIMALES
Incubación	0,5	1000 huevos
0 a 3 meses	1 a 3	1000 alevines
Truchas 4 a 7 cm	4 a 8	1000 peces
Truchas de 7 a 10 cm	20	1000 peces
Truchas de 10 a 30 cm	20 a 25	1000 peces

MacMillan, (1992).

3.1.2.2. Temperatura

Esta tiene una incidencia directa sobre la biología de la trucha y una incidencia indirecta en la concentración del oxígeno disuelto en el agua, la concentración de productos metabólicos (amoníaco) y el tiempo y grado de descomposición de los materiales depositados en el fondo de los estanques.

Los límites inferiores de temperatura, afectan la actividad de la trucha, disminuyendo su crecimiento. Los límites superiores de temperatura que se acerquen y, sobre todo, que sobrepasen los 20° C, inciden en su capacidad de supervivencia, acercándose progresivamente a la extinción si el calentamiento del agua continúa, además, este incremento de temperatura, trae consigo una disminución de concentración de oxígeno disuelto por degradación orgánica de los materiales acumulados en el fondo de los estanques (Wieniawski, 1971).

Para la incubación de ovas y cría de alevines, las temperaturas mayores a 18°C producen el 100% de mortalidad. A 15° C es máxima la incidencia de anomalías y a 6° C se obtiene el máximo de incubaciones normales (85%). La mayor parte de los piscicultores adquieren huevos embrionados en el mercado y los reciben en fase adelantada de desarrollo, pasado el estadio inicial. En estos casos la temperatura biológica e industrial máxima es ligeramente superior a la permitida en fases embrionarias previas y se sitúa en el orden estricto de 12 - 12,5°C.

3.1.2.3. Oxígeno disuelto

Las truchas tienen unas exigencias bastante estrictas frente a este factor, que ya por sí tiene carácter limitante para la práctica industrial de este cultivo. El conocimiento de los miligramos de oxígeno disuelto por litro de agua es esencial en la entrada de los estanques, ya que va a fijar la cantidad de peces que puede contener un caudal de agua conocido (Ferron y Petit, 1975).

Tabla 3. Requerimientos de oxígeno disuelto en el agua

NIVEL DE OXÍGENO	CARACTERÍSTICA
8 - 9 mg/L	Óptimo
6,5 - 7 mg/L	Aceptable
5 mg/L	crítico
4 mg/L	Respiración anhelante
3 mg/L	Insuficiente, mortal
1,5 mg/L	Rápidamente mortal

Cameron y Davis, 1970

Como se observa en la tabla 3 con cifras inferiores a 5 mg/L de oxígeno la trucha tiene una gran dificultad para extraer el oxígeno del agua y transportarlo a través de las branquias al torrente circulatorio (Cameron y Davis, 1970). Se hace, por tanto obligado conocer aquellos factores que influyen en la concentración de oxígeno en el agua y la disponibilidad de éste para los peces en los cursos de agua, así como la influencia que pueden tener las fluctuaciones del contenido de oxígeno, sobre la fisiología propia de la trucha.

En la etapa de Incubación, cuanto menos días tiene el huevo, menor son sus necesidades de oxígeno, acrecentándose a medida que avanza su desarrollo. En el caso de los alevines la concentración de oxígeno del agua a la entrada de la pila debe ser al 100%, es decir, a saturación y la concentración mínima de oxígeno en

el agua de cultivo a la salida de la pila, si se quiere conseguir un buen crecimiento, no debe ser inferior a 6,5 mg/L.

3.1.2.4. pH

Es un factor importante debido a que las truchas no soportan las variaciones bruscas de pH. En la tabla 4 se muestra la incidencia que tienen las variaciones de pH según los estudios realizados por diferentes autores.

Tabla 4. Incidencia del pH en el cultivo de trucha.

Valor del pH	Incidencia
3,5 - 4	Mortal para los salmónidos.
4 - 4,5	Verdaderamente perjudicial para los salmónidos. La resistencia a estos valores aumenta con el tamaño y la edad.
4,5 - 5	Límite de alarma de acidez para los huevos y alevines de salmónidos. La persistencia de estos valores durante largos períodos puede ser causa de mortalidad.
5 - 6	Peligro poco probable para el conjunto de las especies salvo en presencia de concentraciones de anhídrido carbónico libre superior a 20 mg/L.
6 - 6,5	Peligro poco probable para el conjunto de las especies, a menos que la concentración de anhídrido carbónico libre sea superior a 100 mg/L.
6,5 - 9,5	Ningún peligro para los peces, excepto si al mismo tiempo están presentes compuestos amoniacales.
9,5 - 10	Mortal para los salmónidos al cabo de un cierto período de tiempo. Puede ser soportado durante un corto espacio de tiempo.
10 - 11	Rápidamente mortal.

Carmen Blanco, 1995.

De acuerdo con estos estudios, se ha determinado que los valores de pH más apropiados para el cultivo de la trucha se presentan entre 5 y 9 unidades (Carmen Blanco, 1995).

3.1.2.5. Sólidos y turbiedad

Los valores normales de sólidos suspendidos para la producción de trucha se presentan en concentraciones inferiores a 30 mg/L. La mayoría de los autores coinciden en que cifras superiores a 70 mg/L, tienen una notable peligrosidad en los cultivos industriales, que si bien pueden no producir mortalidad inmediata, son motivo de patología secundaria (Sabaut, 1976). Los valores normales de turbidez para la producción de trucha se presenta entre 0 - 6 UNT (Carmen Blanco, 1995).

En la sala de incubación se necesita que se mantenga una situación constante sin turbiedad, ni partículas en suspensión. Si la concentración de sólidos y turbiedad presentan valores fuera de los normales, trae como consecuencia que las partículas transportadas por el agua queden retenidas entre los huevos, recubriendo su membrana externa, lo que ocasiona la obstrucción de los poros microscópicos a través de los cuales el embrión recibe el oxígeno disuelto del agua. Los alevines criados en estas condiciones, aunque la turbidez sea ocasional y de escasa duración en el tiempo, sufren alteraciones fisiológicas al depositarse estas partículas en la superficie branquial, dificultando la respiración, con consecuencias inmediatas o tardías sobre la supervivencia (Warrer-Hansen, 1982). El resultado final, cuando se producen estos hechos, son tasas de supervivencia bajas, agravado todo ello por las manipulaciones a que son sometidos por el piscicultor para eliminar el limo depositado sobre ellos.

3.2. POSIBLES CONTAMINANTES QUE SE GENERAN EN LA PRODUCCIÓN DE TRUCHA

Los residuos contaminantes de la acuicultura incluyen todos los materiales generados en el proceso y que no son removidos del sistema, usualmente sólidos suspendidos, nitrógeno y fósforo provenientes de la materia orgánica transportada por el agua, las deyecciones de los peces y del alimento no consumido.

Las concentraciones de los sólidos suspendidos (SS), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) normalmente son bajas en el efluente, con aproximadamente 14, 1,4 y 0,13 mg/L, respectivamente (Cripps y Kelly, 1996). Estas concentraciones totales desechadas, no todas se encuentran en forma sólida como se muestra en la tabla 5 (Petit, 1978). Aproximadamente 7 – 32% del NT y 30 – 84% del PT hacen parte de los sólidos suspendidos (Foy y Rosell 1991; Bergheim, 1993). El resto se transporta fuera de la granja en forma disuelta que no es fácil de remover por técnicas de separación de partículas que son normalmente empleadas para el tratamiento de agua residual.

Tabla 5. Resultado de las experiencias realizadas por Petit (1978)

Material en Suspensión	Sólidos Sedimentados
Sólidos 86%	56% (después de 5 minutos)
Supracoloides 13.4%	69% (después de 10 minutos)
Coloides 0.36%	90% (después de 20 minutos)
	92% (después de 30 minutos)

El Fósforo, ha causado preocupaciones ambientales debido a que las descargas excesivas disminuyen la calidad del agua de la fuente receptora a través del proceso de eutroficación (Stickney, 1994). El Fósforo generado en la piscícola se deriva del excremento, orina, el alimento desechado, y/o materia orgánica, el cual es descargado en forma disuelta y en forma sólida (Ackefors y Enell, 1994; Cho, 1994).

Dentro del Nitrógeno total, está el amoníaco que se forma como el principal producto final del metabolismo de la proteína en el pez. Los peces expelen NH_3 y NH_4^+ a través de sus agallas por la difusión braquial. El amoníaco y amonio que originan las agallas comprenden 60 – 90% del N total excretados por el pez (Forster y Goldstein, 1969; Rychly, 1980). También se expele la urea a través de las agallas que corresponde a un 9 – 27% del N soluble excretados (Clark, 1985).

Gran parte de la materia orgánica biodegradable que produce la DBO y reduce los niveles de oxígeno disuelto (OD), está presente en forma particulada (Weston, Phillips y Kelly, 1996). En uno de los pocos estudios que cuantifican esto, Kelly (1997) mostró que el 21% de la carga de DBO permanece después hacer pasar el flujo a través de una micro pantalla con un tamaño de poro 60 μm .

Chen (1993) y Cripps (1995) usando las técnicas de caracterización de partículas mostraron que aunque la mayoría de partículas es menor a 30 μm de diámetro, el volumen total de estas, es mucho más bajo que las partículas mayores de 30 μm . Cripps (1995) posteriormente propuso que las concentraciones de fósforo y nitrógeno eran significativamente mayores en las partículas más grandes, pero como éstas partículas no son tan frecuentes, llegó a la conclusión que ningún fragmento de tamaño individual de partículas contiene una carga de estos compuestos relativamente alta.

3.3. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

Un factor importante en el funcionamiento integral de una piscícola de producción de trucha, es el tratamiento de sus aguas, no solo aquella que es utilizada para el abastecimiento de la piscícola, sino también aquella que es considerada como agua de desecho. Dentro del agua de abastecimiento, hay que tener claro que se debe dar mayor importancia al agua que es suministrada para la producción de ovas y alevines pues requieren valores excepcionales de calidad según lo reportado por Aguayo (2003). En la producción de trucha, se presentan dos tipos

de agua de desecho, la que se genera constantemente y la que es producto del lavado de estanques.

En vista del gran número de parámetros que se deben tener en cuenta para el agua de abastecimiento y las características físicas y químicas del efluente piscícola, es necesario hacer un análisis específico antes de establecer un sistema de tratamiento a las aguas de producción de trucha (Cripps y Bergheim, 2000).

3.3.1. Tratamiento de Afluentes

En el tratamiento del agua de abastecimiento para la cría de ovas y alevines, los sistemas deben garantizar condiciones constantes de parámetros fisicoquímicos como turbiedad, sólidos suspendidos, color, pH, entre otros, los cuales deben presentar rangos bajos, según los estudios realizados por Carmen Blanco (1995) como se menciona en el capítulo de condiciones de vida de la trucha.

Para garantizar estas condiciones, se pueden implementar diferentes alternativas de tratamiento para el agua de abastecimiento. Dentro de ellas se puede encontrar la sedimentación simple, que consiste en la remoción de partículas discretas no floculentas en una suspensión diluida. El tratamiento del agua de abastecimiento para producción de trucha por sedimentación, no es muy utilizado debido a que por lo general el agua cruda de abastecimiento para este tipo de procesos presenta concentraciones de sólidos suspendidos y turbiedad relativamente bajas (Aguayo, 2003), que son difíciles de remover por sedimentación, debido a que las eficiencias de remoción de este sistema son altas cuando la concentración de sólidos es grande (Kelly, 1997).

Otra alternativa de tratamiento es la coagulación química, aunque esta usualmente no es muy utilizada para el tratamiento de agua de abastecimiento piscícola debido a los problemas que puede generar los químicos sobre los peces (Aguayo, 2003), sobre todo cuando estos se encuentran en estado de incubación, ya que coagulantes químicos como el sulfato de aluminio traen como consecuencia una disminución brusca del pH del agua, que según los estudios realizados por Swingle (1961), causan alteraciones de osmorregulación y acidificación de la sangre de los peces, además, estas disminuciones de pH pueden dar origen a productos como el ión amonio que es tóxico para los mismos. En los sitios donde se ha implementado este tipo de sistemas para el tratamiento de agua de abastecimiento piscícola, recomiendan aplicar sulfato de aluminio a razón de 35 - 40 mg/L. Cuando se aplica este compuesto hay que tener en cuenta que se produce una reacción ácida que disminuye el pH y afecta la alcalinidad, por consiguiente, con alcalinidades menores de 20 mg/L es necesario adicionar cal para lograr la estabilización del pH (Boyd, 1979).

La filtración en gravas de flujo ascendente es una buena opción para el tratamiento del agua de abastecimiento piscícola, pues no requiere el uso de productos químicos en su proceso de tratamiento, además alcanza remociones importantes en sólidos suspendidos, coliformes, color y turbiedad con valores de remoción hasta el 90% en sólidos suspendidos, del 50% en turbiedad y del 20 a 30% para color según investigaciones realizadas por el Cinara (1998). Estos sistemas al no requerir el uso de productos químicos no afectarían negativamente las condiciones ambientales de los peces. Esta condición hace que ésta tecnología sea viable de ser implementada para satisfacer las condiciones de calidad de agua requeridas en la incubación y alevinajes. Adicional a esto, este sistema tiene la ventaja de garantizar un flujo constante de agua, debido a que la acumulación de sólidos se presenta en el fondo del filtro cerca del sistema de drenaje, lo que facilita el lavado hidráulico, minimizando las posibilidades de taponamiento. Otra ventaja de la implementación de este sistema es su fácil operación y mantenimiento.

3.3.2. Tratamiento de Efluentes

En el tratamiento del efluente piscícola, se han venido desarrollando investigaciones que muestran que el efluente principal, se caracteriza por presentar concentraciones de sólidos suspendidos menores a 5 mg/L y fósforo total menor a 0.1 mg/L, lo que dificulta su tratamiento. Las principales concentraciones de estos y otros contaminantes (DBO, Nitrógeno), parecieran estar en el lodo generado en los sistemas de producción intensiva, según los estudios realizados por Weston, Phillips, y Kelly (1996).

De esta manera, las alternativas de tratamiento de efluentes piscícolas, actualmente están siendo encaminadas principalmente al manejo de los lodos generados en los estanques, pues se ha establecido que el 21% de la carga de DBO permanece después hacer pasar el flujo a través de una micro pantalla con un tamaño de poro 60 μm (tratamiento muy utilizado en Europa en granjas piscícolas de producción intensiva), además, se ha demostrado recientemente que contaminantes como el fósforo se encuentran entre un 30% a 84% en fase sólida (Cripps y Bergheim, 2000), este porcentaje de fósforo sólido representa la remoción teórica que se obtendría si todos los sólidos del efluente fueran removidos. Estos valores son consistentes con otros autores como por ejemplo, Foy y Rosell (1991) que encuentran 30% del fósforo en forma sólida y un 70% sigue siendo compuesto soluble.

En primera instancia, se ha establecido que la mejor alternativa para generar una reducción de la cantidad de lodos descargados por la piscícola, es la disminución de su producción y el manejo de la cantidad y calidad de alimento suministrado a los peces según Summerfelt (1995) y Derrow (1998).

Hay otras alternativas de tratamiento para la remoción de sólidos que no afectan la producción de trucha, las cuales están comercialmente disponibles para la integración en un sistema de tratamiento en piscifactorías de producción intensiva.

Dentro de estas alternativas, se encuentran los tratamientos fisicoquímicos los cuales son comúnmente utilizados para la reducción de contaminantes como sólidos, nitrógeno y fósforo (Foy y Rosell 1991; Bergheim, 2003). Investigaciones recientes sobre floculación con polímeros de alto peso molecular muestran eficiencias de reducción de sólidos suspendidos y fósforo del 99% y 92% respectivamente para aguas previamente tratadas con "microscreen" (Ebeling, Rishel y Sibrell 2005). Estos tipos de tratamientos requieren infraestructura como tanques de mezcla, floculación, sedimentación y equipo de dosificación de coagulante. La pertinencia de estos tratamientos es también limitado debido a la tasa de dosificación de coagulante requerida, ya que para este tipo de agua se requieren cantidades entre 45 a 400 mg/L de coagulantes comunes o de 15 a 20 mg/L de coagulantes a base de polímeros, cantidades que dependen de la concentración de contaminantes, y la química de agua (Corbitt, 1998). El uso de coagulantes para ayudar a la aglomeración rápida de partículas pequeñas no fue considerado económicamente viable por Chesness (1975) y Cripps (1994) para tratamientos de aguas residuales piscícolas en piscifactorías de producción intensiva a gran escala en Estados Unidos y Europa. En consecuencia, esto limita la importación de esta tecnología a países en vía de desarrollo como Colombia donde la infraestructura de las piscifactorías no tiene los niveles de los países desarrollados y los recursos económicos son poco disponibles.

En Europa, en los últimos años, se han venido implementando sistemas de filtración por 'microscreen' para el tratamiento de efluentes piscícolas, los cuales consisten en una pantalla de malla fina (con tamaño de poro de 60 a 200 μm) en forma de tambor giratorio o disco a través del cual se hace circular el agua de desecho. Las partículas detenidas en la malla son removidas y llevadas a un canal de colección de lodo (Wheaton, 1977). En las unidades de filtración avanzadas el tamaño del poro, la velocidad de la rotación y la turbulencia del flujo pueden ajustarse para minimizar la cantidad de agua y aumentar al máximo la concentración de los sólidos, permitiendo obtener eficiencias de remoción, alrededor del 79% para DBO (Kelly, 1997). El inconveniente que presenta esta tecnología, son sus altos costos de implementación, operación y mantenimiento, lo que es poco factible para las características de los piscicultores colombianos.

Otra alternativa para el tratamiento de efluentes es la sedimentación, considerando que la velocidad de sedimentación de las partículas es suficientemente rápida para permitir el uso de esta tecnología como medio de separación. Teniendo en cuenta que las proporciones de flujo de agua en el efluente principal son altas, trae consigo problemas en la dinámica del flujo que incluyen: tiempo de residencia insuficiente para que las partículas sedimenten; resuspensión de partículas sedimentadas; y cortos circuitos de agua a la salida del sistema (True, Jonson y Chen, 2004). El uso de la sedimentación no es intrínsecamente incorrecto, es el uso al cual se aplica la operación. Los caudales del efluente principal son altos, pero el lodo que fluye del lavado de estanques, según investigaciones, es más bajo, comúnmente menos del 10% del flujo total, lo que permite que la sedimentación sea apropiada para la concentración de sólidos y para la disposición del lodo en el lecho de secado como una segunda etapa dentro del sistema de tratamiento (Cripps y Kelly, 1996).

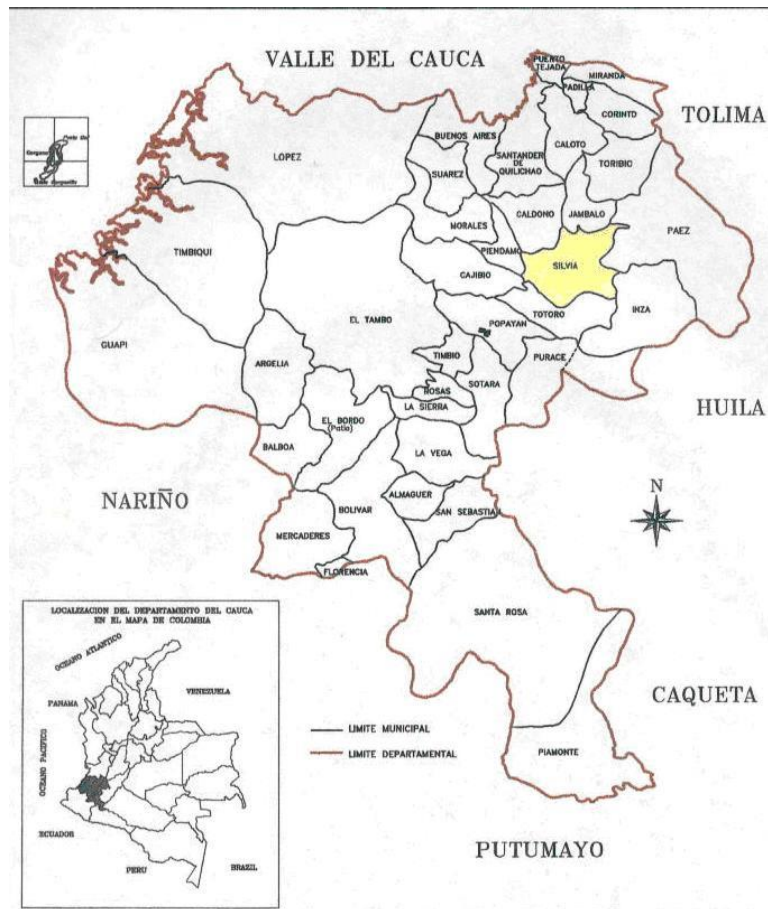
4. METODOLOGÍA

4.1. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL ESTUDIO

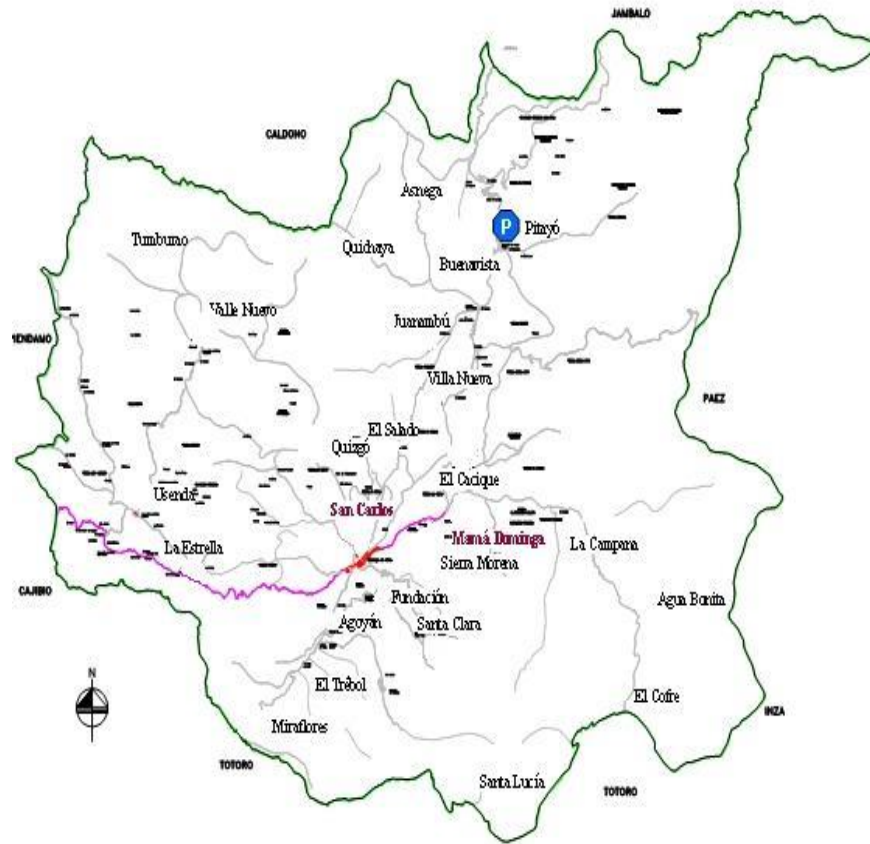
En la realización del presente estudio, se tendrá como base la estación piscícola “Quintero”, perteneciente al señor Weimar Arturo Corpus, ubicada a 27 Km del municipio de Silvia Cauca a 2400 m.s.n.m., específicamente en el resguardo indígena de Pitayó (Figura 1), con una capacidad de producción aproximada de 30000 a 50000 ovas embrionadas y 2 Toneladas de carne de trucha mensual. El periodo de estudio comprende desde el 1 de junio hasta el 6 de Noviembre de 2006.

Figura 1. Ubicación Geográfica resguardo Indígena de Pitayó

A. Municipio de Silvia en el Departamento del Cauca



B. Resguardo de Pitayó el Municipio de Silvia Cauca



La estación piscícola cuenta con una sala de incubación con capacidad para 50000 ovas, 15 piletas de alevinaje con capacidad total aproximada de 50000 alevinos y 22 estanques destinados a la producción de carne con una capacidad total aproximada de 20000 peces con peso entre 120 y 250 gramos. El alimento utilizado es producido por la industria alimenticia ITALCOL S.A, con especificaciones técnicas según la etapa de crecimiento del pez como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Características del alimento suministrado en la estación piscícola de Quintero según la etapa de crecimiento del pez

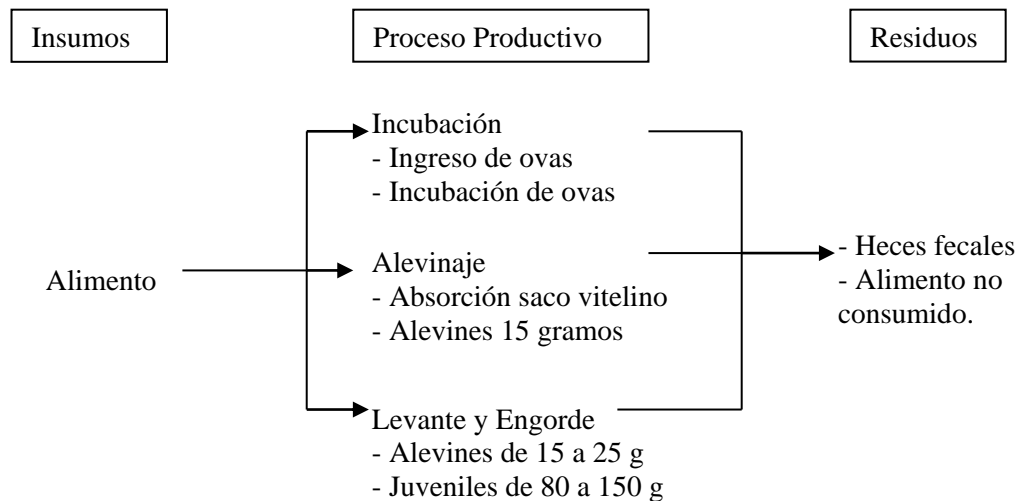
<i>Parámetros Nutricionales</i>	<i>Trucha Iniciación</i>	<i>Trucha Levante</i>	<i>Trucha Finalización (engorde)</i>
Proteína Mínimo	45%	40%	40%
Grasa Mínimo	12%	10%	10%
Humedad Máximo	10%	10%	10%
Ceniza Máximo	12%	12%	10%
Fibra Máximo	2%	4%	4%

Guía alimenticia para trucha Itacol S.A.

La cantidad de alimento total suministrada mensualmente en la estación piscícola de Quintero está por el orden de 0.8 Ton/mes. La estación piscícola presenta dos tipos de efluentes, los cuales son descargados directamente sobre el río Tuklliu. El primero de ellos es vertido constantemente y proviene de la operación normal de la factoría, mientras que el otro es ocasional, producto del lavado de los estanques, de una vez por mes para cada uno.

Incluida la administración, trabajan en la piscícola, de 5 a 10 personas, centrandose las actividades en el desarrollo de tres etapas: incubación de ovas, cultivo de alevines y producción cárnica. La procedencia de las ovas es de origen internacional, producidas por la empresa Troutlodge con sede en Washington D.C. Una vez las ovas son importadas se procede con las etapas descritas en la figura 2.

Figura 2. Flujo de proceso piscicultura de Quintero



Las ovas son incubadas por un periodo de 15 días, en donde se presenta la eclosión del pez, una vez concluida esta etapa sigue la fase de alevinaje, donde los peces son transportados a las piletas de alevinaje y alcanzan un peso promedio de 15 g, finalmente se tienen las etapas de levante y engorde en donde los peces son transportados a los estanques destinados para este fin, distribuidos según su tamaño, alevines de 15 a 25 g, juveniles de 80 a 150 g, adultos de 150 g en adelante según las necesidades del mercado. Actualmente la piscícola Quintero está trabajando con un total de 100.000 animales distribuidos de la siguiente manera: 45.000 ovas en la etapa de incubación, 40.000 peces en alevinaje, 8.000 peces en levante y 7.000 peces en la etapa de engorde.

En la figura 3 se presenta el esquema general de la primera etapa de la estación piscícola de Quintero, en ella se muestra una bocatoma principal con la distribución de flujo que sigue su recorrido hacia la segunda etapa de la estación y una bocatoma secundaria que lleva el agua al sedimentador, que posteriormente va a alimentar la zona de incubación.

Parte del agua que ingresa por la bocatoma principal, se distribuye a través de las piletas de alevinaje y los estanques donde se encuentran los reproductores, esta a su vez es utilizada en la zona de levante y engorde que luego se une al cauce principal, el caudal restante sigue su curso hacia la segunda etapa de la piscícola.

El flujo de agua que ingresa por la bocatoma secundaria, tiene como primer destino el sedimentador, el cual no se encuentra en buenas condiciones, y posteriormente es distribuida hacia la zona de incubación donde se encuentran las salas de desove y alevinaje, el caudal que sale de estas salas se une al flujo destinado a alimentar las piletas de alevinaje y posteriormente se unen al cauce principal.

El agua de lavado de los estanques en la sección 1 (figura 3) de la piscícola es almacenada en dos lagos en tierra, y es vertida sobre el río Quintero. En la sección 2 (figura 4) el efluente de lavado es vertido directamente sobre el río Tukliu. Este lavado consiste en desocupar el estanque hasta dejar una lámina de agua de aproximadamente entre 20 – 30 cm, en donde el piscicultor con la ayuda de un cepillo barre el fondo del estanque, con el fin de desplazar el lodo acumulado hacia el desagüe para ser vertido sobre el río, como se muestra en la fotografía 1.



Fotografía 1. Lavado de Estanques

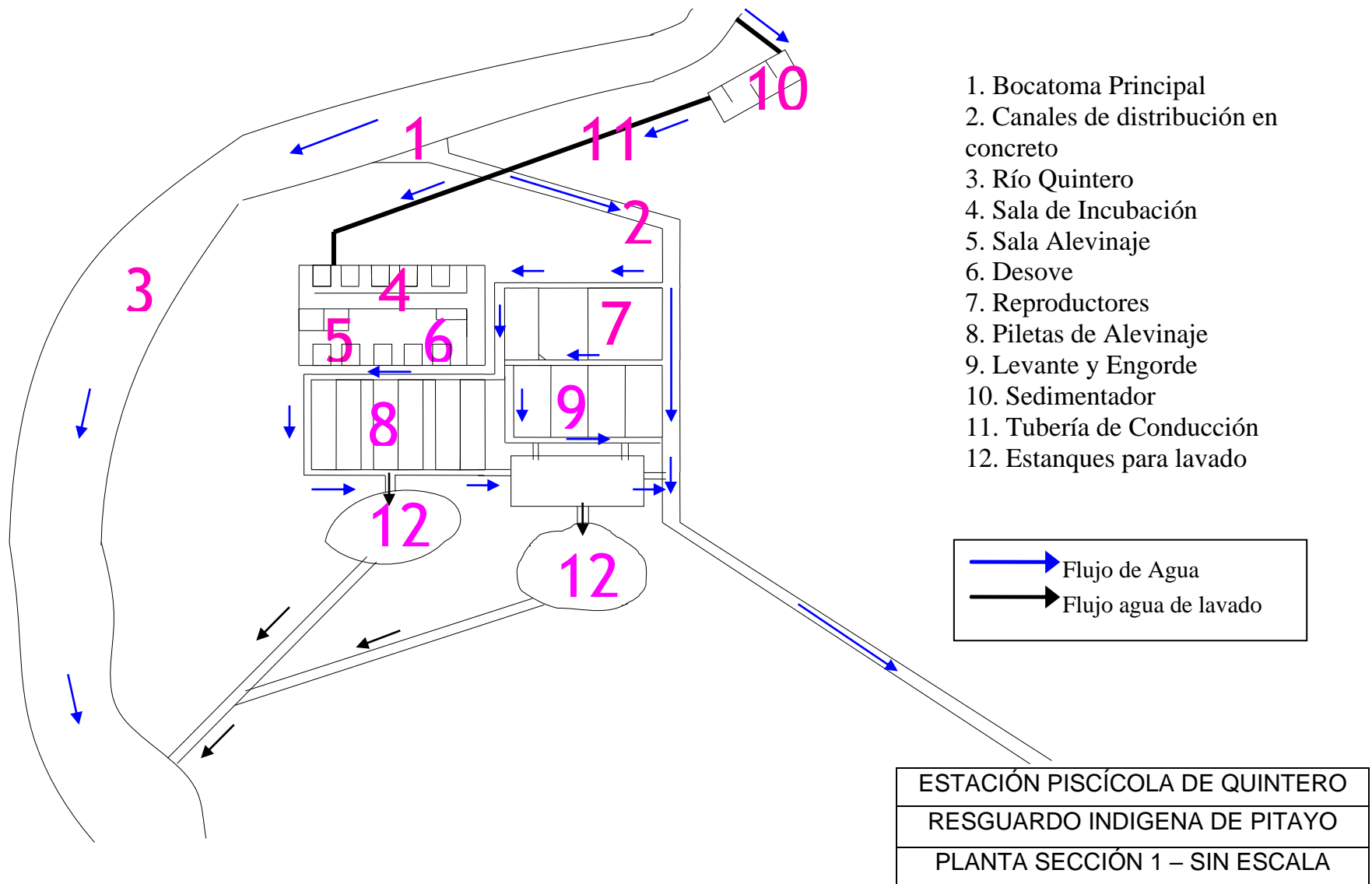


Figura 3. Sección 1 Estación piscícola de Quintero con su respectiva distribución

En la figura 4 se muestra el esquema general de la segunda etapa de la estación piscícola de Quintero, en ella se aprecia la ubicación de la sede administrativa, la zona de levante y engorde, pesca deportiva y piletas de alevinaje.

El flujo de agua, proviene de la primera etapa (figura 3), se distribuye inicialmente sobre las piletas de alevinaje y los estanques de levante y engorde en tierra, una vez ha realizado este recorrido, el flujo se dirige hacia los estanques en concreto de levante y engorde donde finalmente es descargada sobre el río Tuklliu que hace parte de la cuenca del río Quintero.

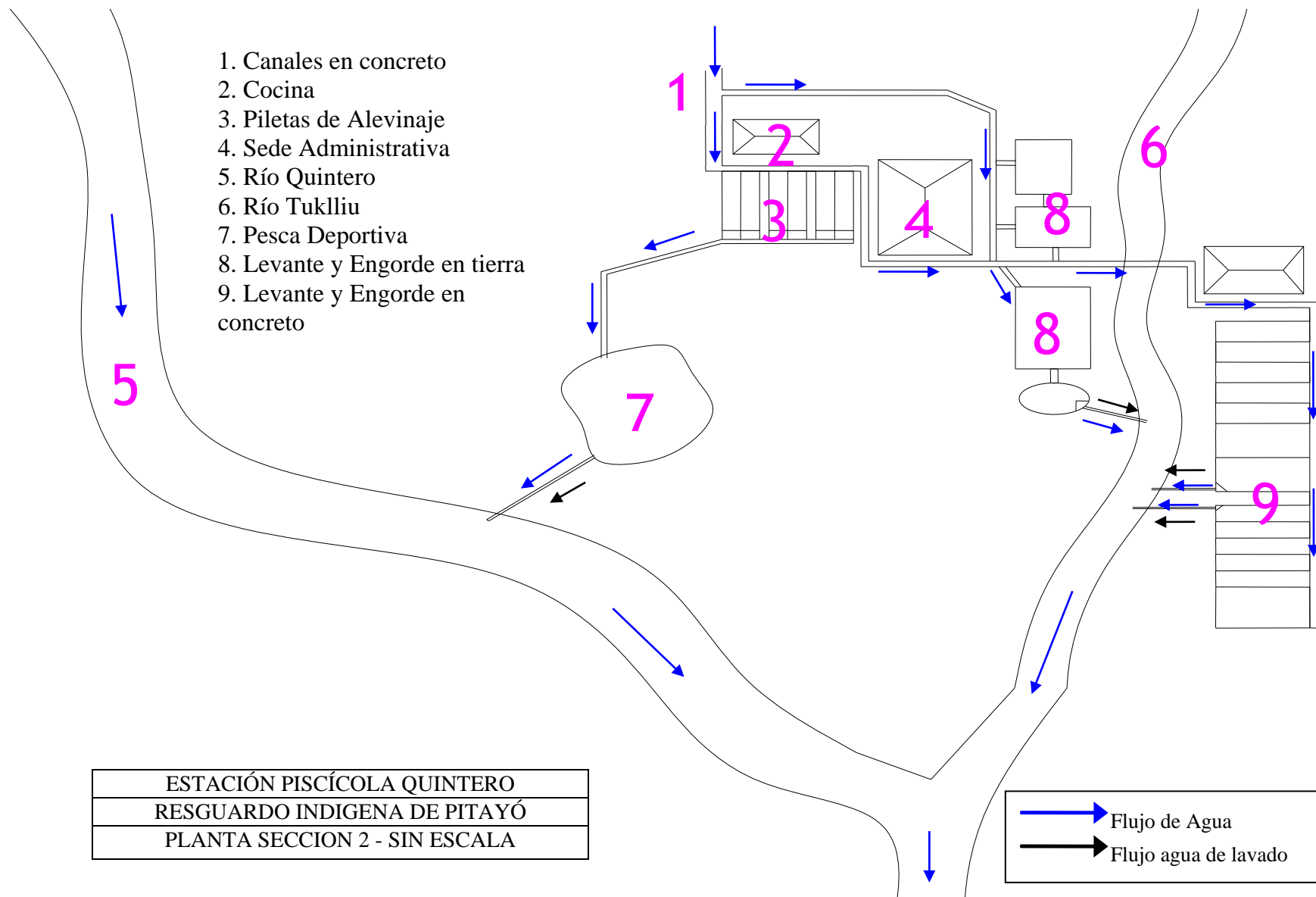


Figura 4. Sección 2 Estación piscícola de Quintero con su respectiva distribución

Para cumplir con los objetivos de este estudio teniendo en cuenta las características de la piscícola Quintero mencionadas anteriormente, se lleva a cabo la siguiente metodología.

4.2. OBJETIVO 1

Para lograr el objetivo 1, se realizan las siguientes actividades:

4.2.1. Inspección Sanitaria

Se realiza una visita a la cuenca del río Quintero, la cual consiste en un recorrido aguas arriba de la estación piscícola, con el objetivo de identificar las posibles fuentes de contaminación que puedan tener incidencia directa sobre el cultivo de trucha, particularmente en el proceso de incubación, adicional a esto, se hizo una observación directa de los diferentes usos del suelo y cómo estos pueden afectar la calidad del agua del río.

4.2.2. Seguimiento a la Calidad Fisicoquímica y Microbiológica del Agua

Los ensayos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se realizaron de acuerdo con lo establecido en el Standard Methods que se resumen en el anexo D. Se estableció un punto de muestreo ubicado en la bocatoma principal de sistema, debido a que por esta zona ingresa la mayor cantidad de agua que suministra a la estación piscícola, esto permitirá evaluar las condiciones de calidad en que está ingresando el agua para la producción de trucha, en particular, aquella que es utilizada para la incubación y alevinaje. El análisis de estas muestras fue realizado en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Cauca. Los parámetros medidos y la frecuencia de muestreo se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Parámetros de medición para caracterización fisicoquímica.

Parámetro	Frecuencia Semanal	Número de Análisis
Caudal	1	6
Turbiedad	1	6
Sólidos Suspendidos	1	6
pH	1	6
Coliformes Fecales	1	6
DBO	1	6
DQO	1	6
Oxígeno Disuelto	1	6
Color real	1	6
Fosfato	1	6
Nitrato	1	6

4.2.3. Aforos de Caudal

Para el aforo de caudales, se tuvo en cuenta dos zonas de medición. La primera zona corresponde a la bocatoma principal (punto A en la figura 5) del sistema por donde ingresa la mayor cantidad de flujo a la piscícola, sin considerar el agua que suministra la sala de incubación. Para realizar la medición de caudal en la bocatoma principal, se utilizó el método de Molinete, para el cual se tomaron las medidas del canal (ancho y profundidad) y el área total de canal se dividió en sub-áreas de tal manera que no circule más del 10% del caudal total por cada una de ellas, posteriormente se tomaron las revoluciones generadas en el molinete cada 30 segundos en cada una de las sub-áreas del canal, estos datos se procesaron en una planilla de calculo (Excel) que permitió obtener el valor del caudal en m³/s (Ver anexo A).

La segunda zona de medición de caudal, está ubicada en la tubería que suministra el agua a la sala de incubación proveniente de la bocatoma secundaria (Punto B en la figura 5). Para su medición se utilizó el método de Volumen - Tiempo, el cual consiste en medir la cantidad de volumen de agua recogida en un tiempo determinado, para ello se utilizó un balde con capacidad de 2 litros y un cronómetro.

4.2.4. Selección y Diseño de Alternativa de Tratamiento

Con los resultados obtenidos de aforos de caudal y la caracterización fisicoquímica y microbiológica de la fuente de abastecimiento, se discutirán las posibles alternativas de tratamiento y se seleccionará la que mejor se adapte a las condiciones del entorno rural y permita un buen tratamiento del agua cruda, de tal manera que se garantice una buena calidad de agua para producción de trucha.

4.3. OBJETIVO 2

Para lograr el objetivo 2 se tienen las siguientes actividades.

4.3.1. Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del efluente principal piscícola y el agua de lavado de estanques

Los ensayos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se realizaron en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Cauca, teniendo como base lo establecido en el Standard Methods que se resume en el anexo D.

En el efluente principal, se establecieron dos puntos de muestreo ubicados uno en el punto medio del recorrido del flujo a través de la piscícola, en donde se mezcla el agua proveniente de la zona de incubación, levante y engorde de la etapa 1 con el agua cruda que viene por el cauce principal, este punto de muestreo será llamado agua mezclada. Se tomó este punto de muestreo con el fin de obtener datos sobre como varían los parámetros fisicoquímicos cuando parte del agua ya ha sido utilizada en un primer proceso de producción de trucha. El segundo punto de muestreo se ubica en la salida general del sistema, la cual está conformada por dos tuberías de desagüe que se llaman S1 y S2 (Ver figura 5) por donde se descarga el efluente sobre el río Tuklliu que posteriormente se une al río Quintero. Se consideró estos puntos de muestreo con el fin de tener información sobre qué condiciones se está descargando el efluente piscícola sobre el río Tuklliu. Los parámetros medidos y la frecuencia de muestreo se presentan en la tabla 7.

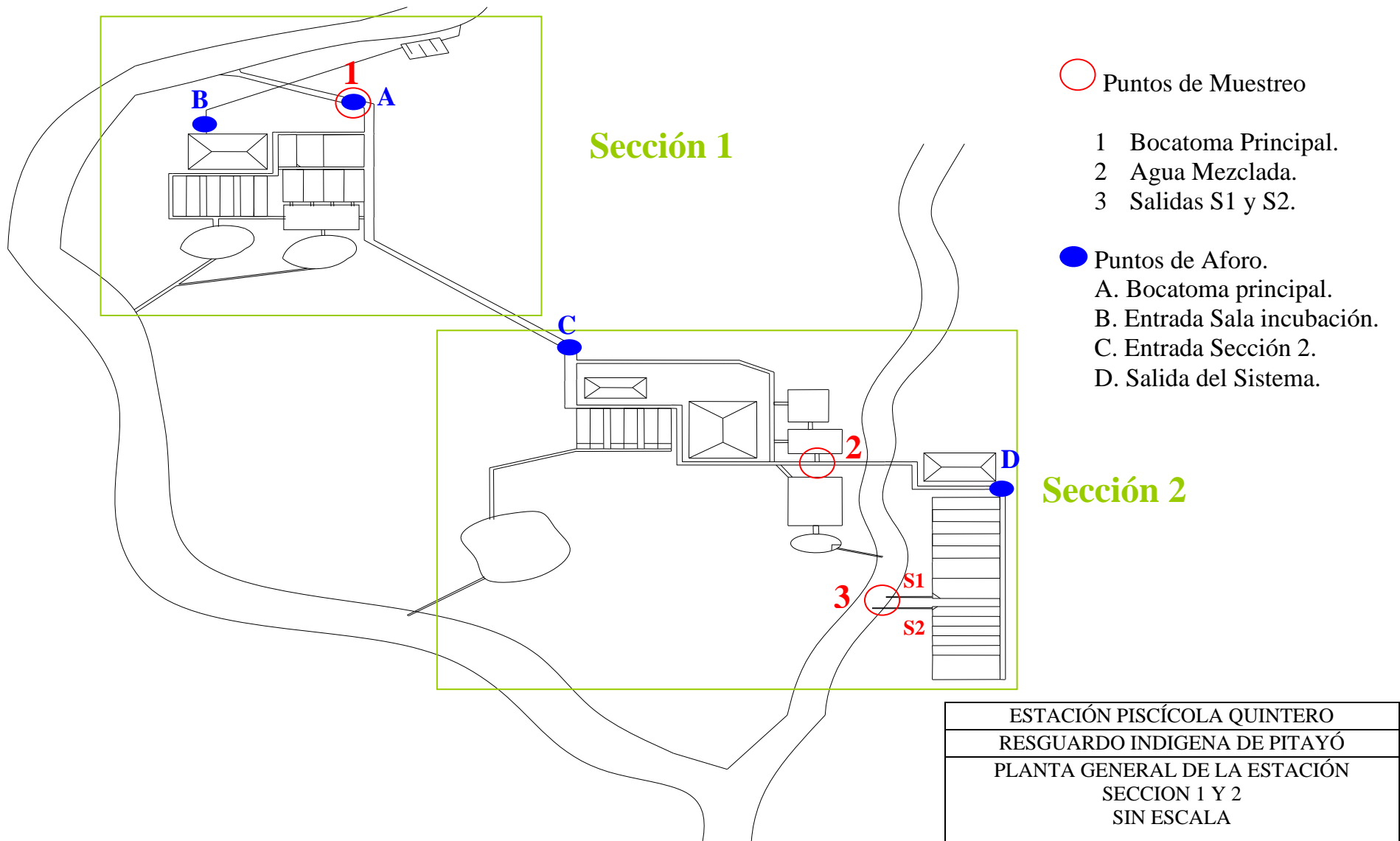


Figura 5. Esquema general de la estación piscícola de Quintero con ubicación de los puntos de aforo y muestreo.

Para la caracterización del agua de lavado de estanques, se midieron los parámetros fisicoquímicos relacionados en la tabla 7, para ello se tomaron dos muestras puntuales del agua de lavado de un solo estanque que tiene las dimensiones promedio de los estanques de la piscícola Quintero, la primera a los cinco minutos de haber iniciado el lavado y la segunda a los catorce minutos que es el tiempo total de duración del lavado. Esto con en fin de cuantificar la cantidad de desechos producida durante todo el tiempo de lavado.

4.3.2. Aforos de caudal efluente principal y agua de lavado

En la medición de caudales del efluente principal, se tuvo en cuenta dos zonas de medición. La primera corresponde a la zona de entrada a la sección 2 de la piscícola (punto C en la figura 5) por donde circula el agua cruda, mezclada con la proveniente de la sala de incubación, levante y engorde de la sección 1. La segunda consiste en el canal que conduce el agua hacia la etapa final del sistema (punto D en la figura 5) que posteriormente es descargado sobre el río Tuklliu. Para el aforo de caudal en estos puntos se utilizó el método de Molinete descrito en el objetivo 1.

Para medir el caudal del agua de lavado, debido a su dificultad, se tuvo en cuenta la diferencia de profundidades de agua al interior del estanque durante el lavado y las dimensiones del mismo, con las que se calculó el volumen de agua, el cual, se dividió por el tiempo total de lavado para obtener el caudal total producido.

4.3.3. Selección y diseño de alternativa de tratamiento para el efluente piscícola

Con los resultados obtenidos de aforos de caudal y la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los efluentes, se discutirán las posibles alternativas de tratamiento y se seleccionará la que mejor se adapte a las condiciones del entorno rural y permita dar un buen tratamiento del efluente piscícola, de tal manera que se minimicen los impactos ambientales sobre la cuenca del río Quintero.

4.4. OBJETIVO 3

En la consecución del objetivo 3 se realizaron las siguientes actividades.

4.4.1. Cuantificación del lodo generado por la estación piscícola

Para cuantificar la cantidad de lodo generado por la piscícola, se tendrá en cuenta la cantidad de sólidos suspendidos encontrados en los análisis de laboratorio realizados a los efluentes piscícolas. En el caso del agua de lavado se tiene en cuenta que este valor de sólidos producidos corresponde a un solo estanque.

La cantidad total de lodo a tratar va a estar determinada por el lodo producido por la piscícola.

4.4.2. Dimensionamiento de los lechos de secado de lodos

Una vez obtenida la cantidad de lodo producido, se podrán determinar las dimensiones del lecho de secado para disponer dicho material.

5. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. INSPECCIÓN SANITARIA

En el recorrido realizado se observó que aguas arriba de la estación piscícola, las riveras del Río Quintero presentan pendientes fuertes, con abundante fauna de especies nativas con pocos niveles de intervención antrópica, en contraste con las laderas que muestran un bajo nivel de deforestación como producto de la escasa actividad ganadera, a esto se suma, la presencia de algunos cultivos de pan coger (maíz, yuca, papa, etc.) con una topografía relativamente suave. Este tipo de características del entorno, hace que en los periodos de lluvia por efectos de escorrentía se incrementen los sólidos suspendidos y la turbiedad en el río Quintero (siendo esta fuente la que abastece la estación piscícola), situación observada por el administrador de la piscícola. La frecuencia con que se presentan estos eventos es del orden de 3 a 5 veces en el año, con una duración que usualmente no sobrepasan las 3 horas. Estas condiciones pueden tener efectos negativos en el cultivo de trucha, especialmente en las etapas de incubación y alevinaje. Todo esto acompañado de la descomposición natural de la materia orgánica proveniente de la vegetación y una posible contaminación microbiológica producto de la actividad ganadera de la zona.



Fotografía 2. Río Quintero aguas arriba de la estación piscícola



Fotografía 3. Laderas del río Quintero

Aguas abajo de la estación piscícola se aprecia una mayor intervención antrópica que se ve reflejada en la presencia de vías y parcelaciones en la rivera del río

Quintero, con actividades ganaderas y agrícolas, lo que trae como consecuencia una disminución de la fauna silvestre, además, es de esperarse una contaminación del río, producto de las aguas residuales de la estación piscícola Quintero originadas en la producción de trucha, que son descargadas sin ningún tratamiento previo.



Fotografía 4. Cultivos aguas abajo de la estación piscícola

Estas aguas residuales generalmente están compuestas principalmente por nitrógeno, fósforo y residuos orgánicos provenientes de las excretas de los peces y el alimento no consumido por los mismos (Cachafeiro, 1995).

5.2. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE TRUCHA

5.2.1. Aforos o Estimación de Caudal

Las aguas son captadas por gravedad y son conducidas por un canal que la distribuye a lo largo de toda la estación piscícola (ver Figuras 3 y 4). En la tabla 8 se muestran los caudales promedios para los diferentes puntos de aforo, al respecto, se puede observar que durante todo el trayecto del agua por la estación, se presentan fugas, pues, en la entrada del sistema se tienen caudales aproximados de 68,32 L/s mientras que en la salida se tienen caudales de 59,33 L/s. En promedio por la estación piscícola está circulando un caudal de 62,16 L/s. Acorde con MacMillan (1992), teóricamente se requiere de aproximadamente 64 L/s para una producción de 2 toneladas de carne de trucha al mes, dato que se

aproxima al valor determinado para la piscícola Quintero considerando el volumen de producción que se mantiene en la piscícola.

Tabla 8. Aforos de caudal para los diferentes puntos de muestreo.

Punto de Aforo	Caudal (L/s)						Caudal promedio (L/s)
	01-jun	07-jul	30-ago	08-sep	13-sep	04-oct	
Bocatoma Principal	63,33	70,77	70,00	68,38	68,38	69,00	68,31
Entrada sala de incubación	2,29	2,31	2,30	2,27	2,28	2,29	2,29
Entrada sección 2	52	65	68,76	51,14	51,20	64,95	58,84
Salida del sistema	54	67,66	66,23	52,54	51,24	64,30	59,33

También se observa que en la sala de incubación están entrando en promedio 2,29 L/s y según cantidades de agua requeridas para las distintas fases del cultivo que se presenta en la tabla 2 se observa que se necesita aproximadamente 0,0083 L/s para 1000 huevos, por lo tanto para la sala de incubación de la piscícola Quintero, con una producción máxima de 50000 ovas se requiere 0,42 L/s. Esto significa que a la sala de incubación está ingresando agua suficiente para el desarrollo de las ovas, incluso mucho más de la requerida por el proceso.

5.2.2. Análisis Parámetros Físico-químicos del agua

5.2.2.1. Oxígeno Disuelto (OD)

Tabla 9. Estadística Descriptiva del Oxígeno Disuelto para cada punto de Muestreo

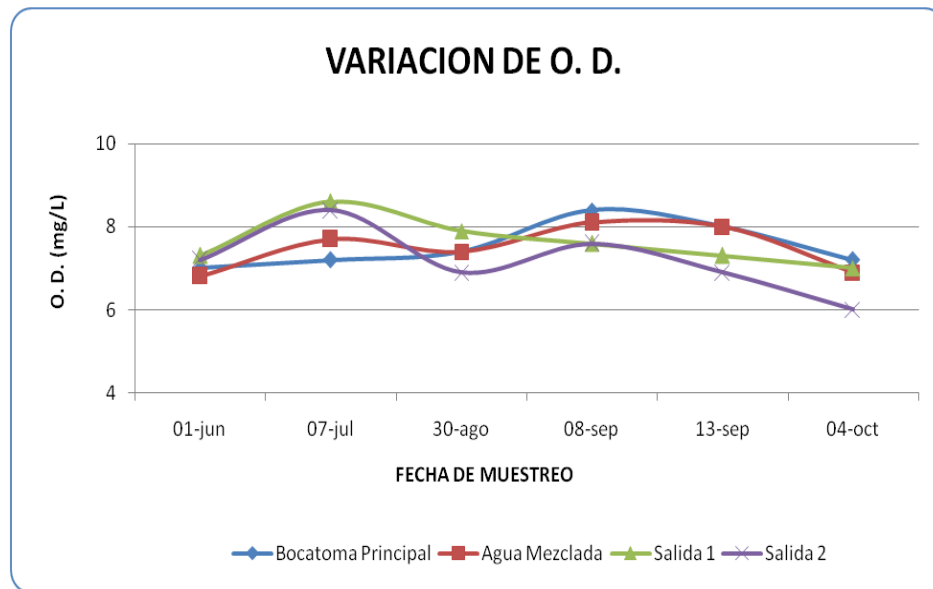
Parámetro	Punto de Muestreo	Promedio	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Datos
OD (mg/L)	BP	7,53	8,4	7	0,55	6
	AM	7,48	8,1	6,8	0,55	6
	S1	7,62	8,6	7	0,57	6
	S2	7,17	8,4	6	0,80	6

BP = Bocatoma Principal, AM = Agua Mezclada, S1 = Salida 1, S2 = Salida 2.

En la tabla 9 se muestra la estadística descriptiva para el oxígeno disuelto y en la figura 6 se muestra la tendencia que presentó el oxígeno disuelto durante el periodo de muestreo. Se puede apreciar que el rango en el cual se encuentra el

oxígeno para los diferentes puntos de muestreo está en el intervalo de 6,5 a 8,5 mg/L, esto implica que las condiciones en las cuales se desarrollan las truchas están por encima de 5,5 mg/L lo que para Cameron y Davis (1970) es un buen valor que facilita la extracción del oxígeno del agua por parte de los peces.

Figura. 6. Variación de OD durante el periodo de muestreo



Según los valores de oxígeno que presenta la bocatoma principal del sistema (tabla 9), las condiciones para incubación de ovas y alevines, es adecuada, ya que los huevos en etapa de incubación requieren unas necesidades de oxígeno entre 4,5 – 7 mg/L y los alevines requieren oxígeno por encima de 6 mg/L (Garside, 1965) y como se observa la entrada del sistema se esta superando estos requerimientos satisfactoriamente para el crecimiento de las ovas y alevines.

A medida que avanza el proceso de producción piscícola por cada una de sus etapas (incubación, alevinaje, levante, engorde), se tiene que en cada una de ellas se presenta una ligera disminución de oxígeno que se ve reflejada en los valores encontrados en la salida del sistema. Sin embargo, un análisis de varianza realizado a los datos mostró que no se presentan diferencias significativas, con una significancia $\alpha= 0.05$, entre los promedios de las concentraciones de oxígeno disuelto (Anexo C), lo cual significa que no se presenta una incidencia del proceso de producción sobre la concentración de oxígeno disuelto, lo cual es conveniente tanto para la producción del pez como para la descarga final.

5.2.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO)

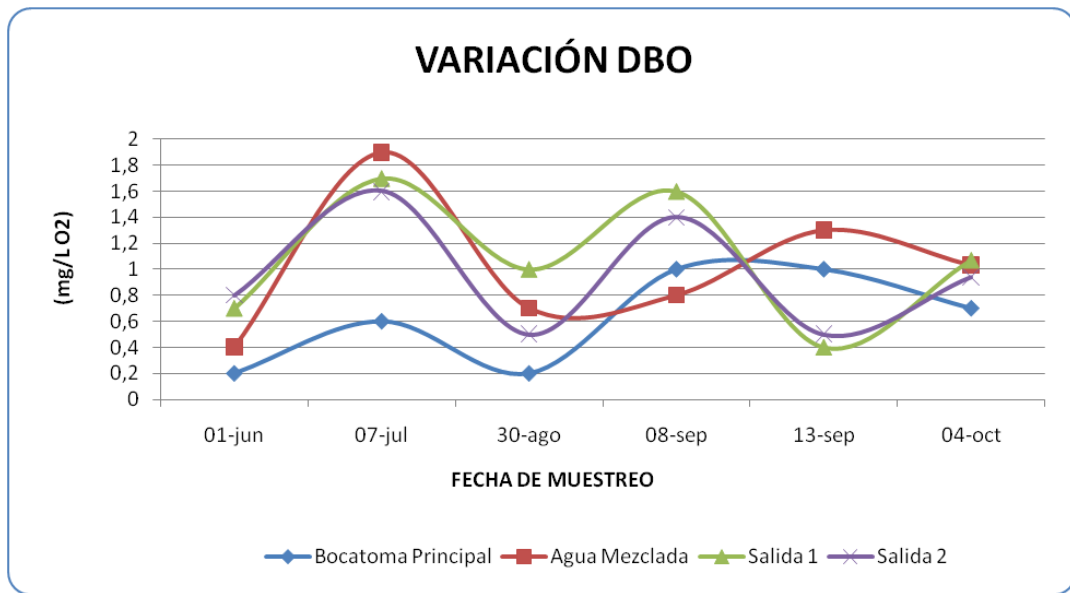
Tabla 10. Estadística Descriptiva de la DQO y DBO para cada punto de Muestreo

Parámetro	Punto de Muestreo	Promedio	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Datos
DQO (mg/L)	BP	5,26	9,89	1,31	2,73	6
	AM	6,63	11,79	2,58	3,26	6
	S1	5,54	9,89	2,90	2,46	6
	S2	4,76	7,52	1,95	2,08	6
DBO (mg/L)	BP	0,62	1,00	0,20	0,36	6
	AM	1,02	1,90	0,40	0,53	6
	S1	1,08	1,70	0,40	0,50	6
	S2	0,96	1,60	0,50	0,46	6

BP = Bocatoma Principal, AM = Agua Mezclada, S1 = Salida 1, S2 = Salida 2.

La estadística descriptiva de la DBO y DQO encontrada en la estación piscícola de Quintero se presenta en la tabla 10, mientras que en las figura 7 y 8 se muestra su comportamiento durante todo el periodo de muestreo. En ellas se pueden observar que durante el tiempo de estudio, los valores de DBO y DQO mantienen un rango bajo, lo que nos indica la baja presencia de contaminantes orgánicos, que está acorde con la alta dilución y los niveles de oxígeno disuelto encontrados en todo el sistema.

Figura. 7. Variación de DBO durante el periodo de muestreo

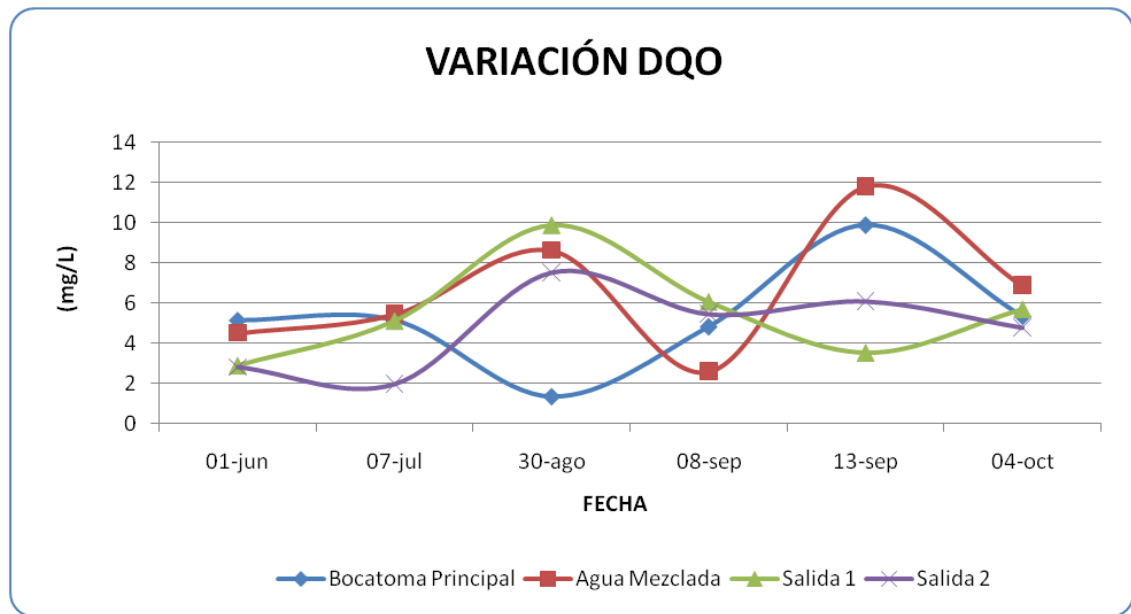


Un análisis de varianza realizado a los datos mostró que no se presentan diferencias significativas, con una significancia $\alpha = 0.05$, entre los promedios de las concentraciones de DBO y DQO (Anexo C), evidenciando que no se presenta una incidencia del proceso de producción sobre la concentración de estos parámetros.

La relación DBO/DQO en todo el sistema está por debajo de 0,3 mostrando que los contaminantes generados en la producción de trucha no son de fácil tratamiento desde el punto de vista biológico.

Los valores encontrados en la bocatoma principal del sistema confirman que aguas arriba de la estación piscícola la contaminación orgánica es mínima, debida probablemente a la descomposición natural de la materia orgánica presente en el río, más no de un foco de contaminación externa, como fue verificado en la inspección sanitaria de la zona.

Figura. 8. Variación de DQO durante el periodo de muestreo



En el agua mezclada proveniente de la sección 1 donde se tomaron las muestras, la DBO y DQO no superan los 2 mg/L y 12 mg/L respectivamente durante el periodo de muestreo, lo que implica que no hay riesgo de una disminución de oxígeno por la descomposición de materia orgánica acumulada al interior del estanque. Esto se explica por la constante circulación de agua, lo que hace que se presente una oxigenación permanente compensando la disminución de oxígeno por descomposición de sólidos sedimentados en los estanques.

En los datos de la salida del sistema se evidencia que en algunas de las fechas de la toma de muestras se presentan valores menores de DBO y DQO que los datos de la bocatoma y del punto de mezcla, esto puede ser producto de el tratamiento generado en los estanques donde se crían y engordan los peces, los cuales presentan tiempos de retención teóricos de aproximadamente 15 minutos, que pueden propiciar procesos de sedimentación, lo cual facilita la remoción de cargas orgánicas contenidas en los sólidos sedimentables. Estos resultados de DBO y DQO presentados en la salida del sistema por sus valores bajos, sugieren que la descarga sobre el río Quintero no representan mayor grado de contaminación.

Comparando los valores encontrados de DBO, con los reportados por el RAS (Anexo E) para aguas de abastecimiento en estado natural, muestra que la DBO promedio está por debajo de 1,5 mg/L con un máximo diario de 1 - 3 mg/L, la catalogan como fuente aceptable para abastecimiento de agua, esto quiere decir que la trucha no tiene mayor efecto de contaminación desde el punto de vista de materia orgánica, indicando que la descarga sobre el río Quintero no representa

mayor grado de contaminación, como ya se mencionó, estas características de DBO y DQO están relacionadas con los procesos de sedimentación generados al interior de los estanques, mostrando que no es necesario realizar tratamiento al efluente principal del sistema.

5.2.2.3. Sólidos Suspendidos

Tabla 11. Estadística Descriptiva de los Sólidos Suspendidos para cada punto de Muestreo.

Parámetro	Punto de Muestreo	Promedio	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Datos
SST (mg/L)	BP	2,38	5,0	0,95	1,50	6
	AM	2,89	7,0	1,48	2,06	6
	S1	4,57	7,5	1,20	2,35	6
	S2	4,26	7,0	1,40	1,99	6

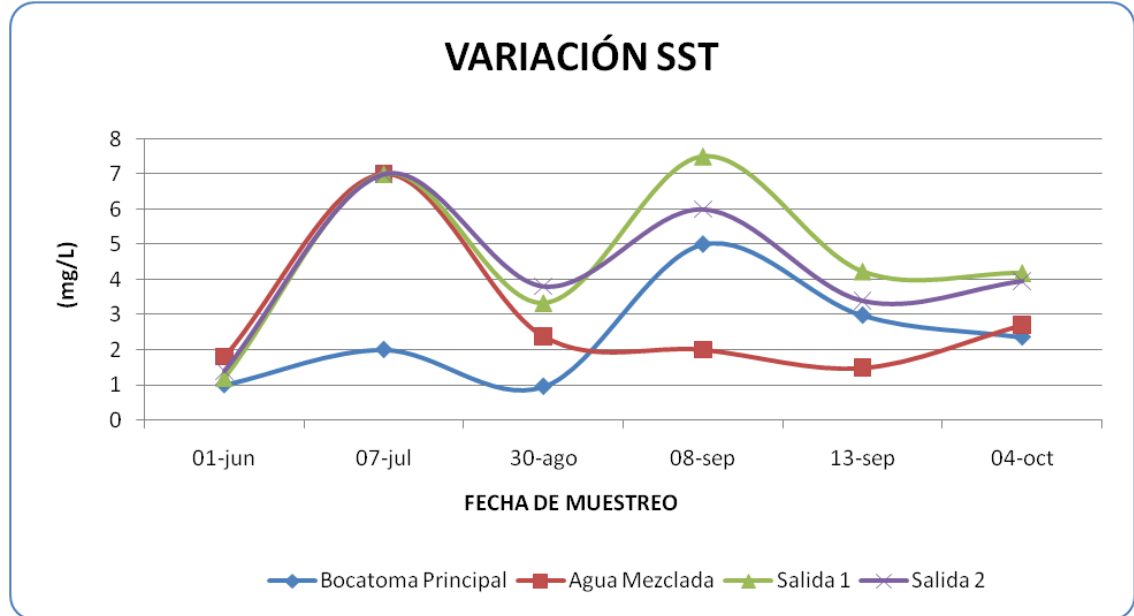
BP = Bocatoma Principal, AM = Agua Mezclada, S1 = Salida 1, S2 = Salida 2.

En el la Tabla 11 y Figura 9 se muestra el comportamiento que presentaron los sólidos suspendidos durante el período de estudio, en ellos se pueden apreciar que los niveles de sólidos en todo el proceso de producción piscícola son bajos.

En la bocatoma principal del sistema los sólidos suspendidos totales presentan rangos bajos en los primeros meses de muestreo, sin embargo, se evidencia un aumento en algunas fechas de muestreo, posiblemente por la presencia de lluvias para esa época del año, dando origen a un incremento en la concentración de sólidos. Este hecho también ha sido observado por el administrador de la piscícola para otros periodos del año diferentes a las fechas de muestreo, donde la intensidad de las lluvias ha sido mayor, esto hace que el nivel de sólidos se aumente generando consecuencias funestas para los huevos de trucha dispuestos en las bandejas de incubación.

La sedimentación de estas partículas sobre la superficie de los huevos impide que se realicen con normalidad los intercambios gaseosos a través de la membrana externa del huevo. Esto conlleva a un déficit de oxígeno en el huevo, no porque el agua sea pobre en oxígeno, sino por la falta de contacto entre el agua y la superficie externa del huevo, al existir entre ambas una capa de sólidos (Carmen Blanco, 1995).

Figura. 9. Variación de Sólidos Suspendidos durante el periodo de muestreo



Según los datos obtenidos en la salida del sistema, la carga de sólidos máxima descargada por la piscícola es de 1.15 Ton/mes con un caudal promedio de 59.33 L/s, que comparados con otros procesos productivos como el de la Tilapia en la piscifactoría Pambío ubicada en el municipio de Timbio Cauca, en donde se tienen cargas de aproximadamente 36.5 Ton/mes con un caudal promedio de 12.5 L/s (Salazar y De La Cruz, 2007), se puede decir que se están generando impactos mínimos sobre la fuente receptora, en este caso el río Quintero. Además, el análisis de varianza realizado a los datos mostró que no se presentan diferencias significativas, con una significancia $\alpha = 0.05$, entre los promedios de las concentraciones de sólidos suspendidos (Anexo C), lo cual significa que en el transcurso del proceso productivo, aunque se pueden presentar pequeñas variaciones, indica que la producción de trucha no tiene mayor incidencia sobre la concentración de este parámetro. Esto puede ser explicado por el efecto que realizan los estanques sobre los sólidos, en este sentido los estanques están generando un proceso de control.

Los sólidos en suspensión presentes en el agua, en función de su concentración, pueden matar directamente a las truchas y en el menor de los casos, dar origen a: una mayor susceptibilidad para padecer enfermedades, reducir el ritmo de crecimiento, alterar la movilidad natural de los peces en los estanques para captar la comida, y tiene, sobre los alevines, efectos desastrosos (Cachafeiro, 1995). De esta manera, para garantizar unas condiciones de vida adecuadas para las truchas, en especial los alevines, es conveniente, una alternativa de tratamiento

que garantice una concentración baja de sólidos en la entrada del sistema para cualquier época del año.

5.2.2.4. Turbiedad

Tabla 12. Estadística Descriptiva de la Turbiedad para cada punto de Muestreo.

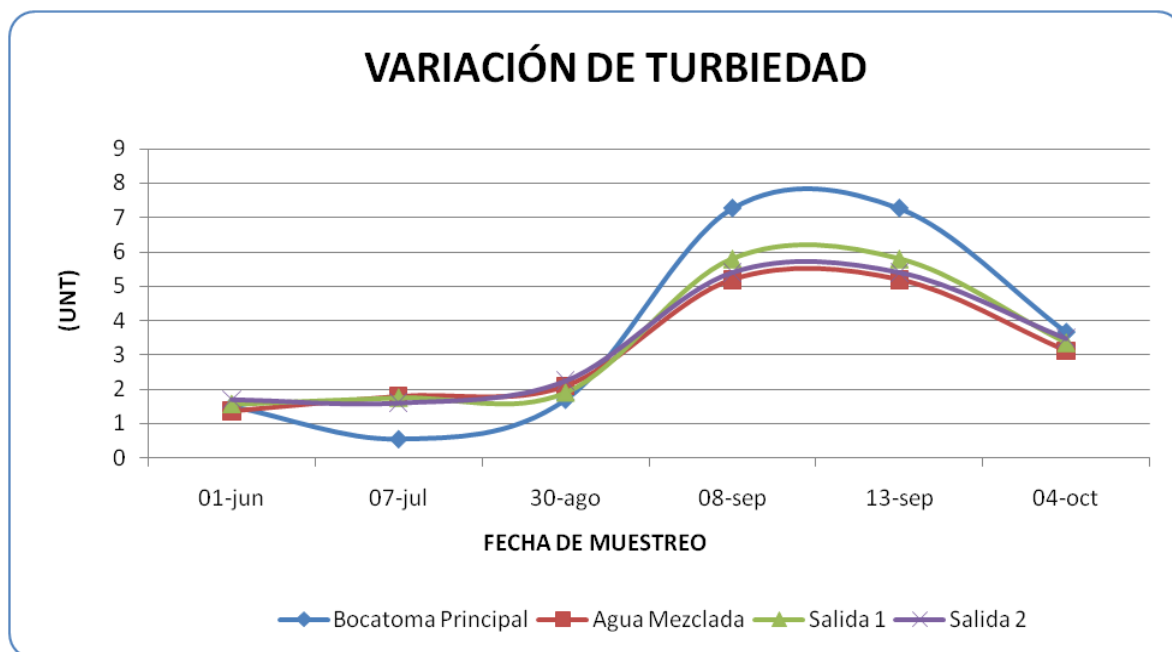
Parámetro	Punto de Muestreo	Promedio	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Datos
Turbiedad (UNT)	BP	3,65	7,27	0,53	2,98	6
	AM	3,13	5,20	1,37	1,70	6
	S1	3,37	5,80	1,57	1,99	6
	S2	3,30	5,39	1,60	1,75	6

BP = Bocatoma Principal, AM = Agua Mezclada, S1 = Salida 1, S2 = Salida 2.

La estadística descriptiva de los valores de turbiedad encontrados se relaciona en la tabla 12 y en figura 10. En ellos se puede observar que para todos los puntos de muestreo su rango es bajo, lo cual está asociado al nivel de sólidos presentes en el agua como se señaló en el parámetro anterior.

Si se mira el comportamiento de la turbiedad para cada punto de muestreo señalado en la figura 10, se aprecia que en las primeras fechas de muestreo la turbiedad en la bocatoma principal tiende a presentar valores menores a los encontrados en los otros puntos de muestreo. Estos incrementos podrían ser explicados por la presencia de alimento no consumido y material fecal de los peces y a una baja turbiedad en el agua cruda debido al periodo de verano que se presentó durante los meses de Junio, Julio y Agosto. Para los siguientes meses el periodo de lluvia incrementó los valores de turbiedad en el agua cruda, la cual pudo ser sedimentada en los estanques generando su reducción gradual en los puntos intermedios hasta la salida.

Figura 10. Variación de Turbiedad durante el periodo de muestreo



Estos niveles de turbiedad no presentan problemas para las etapas avanzadas de crecimiento del pez (levante y engorde) según los estudios realizados por Aguayo (2003) mostrados en la tabla 1, donde se establece que la producción de trucha no tiene inconvenientes con turbiedades menores a 6 UNT, pero para las etapas iniciales de crecimiento (incubación y alevinaje) se debe tener cuidado, en especial cuando se presentan incrementos de turbiedad como se aprecia en la figura 10 después del mes de agosto donde se alcanzan picos de hasta 7,27 UNT en la bocatoma principal, que coincide con la temporada de lluvia de la zona, caso similar a lo ocurrido con los sólidos presentes en el agua. Esto muestra la necesidad de implementar un sistema de tratamiento que permita mantener condiciones adecuadas de turbiedad para cualquier época del año principalmente para las etapas de incubación y alevinaje.

Un análisis de varianza realizado a los datos mostró que no se presentan diferencias significativas, con una significancia $\alpha = 0.05$, entre los promedios de las concentraciones de turbiedad con un rango relativamente bajo (Anexo C), lo cual significa que no se presenta una incidencia del proceso de producción sobre este parámetro.

5.2.2.5. Color Real

Tabla 13. Estadística Descriptiva del Color Real para cada punto de Muestreo.

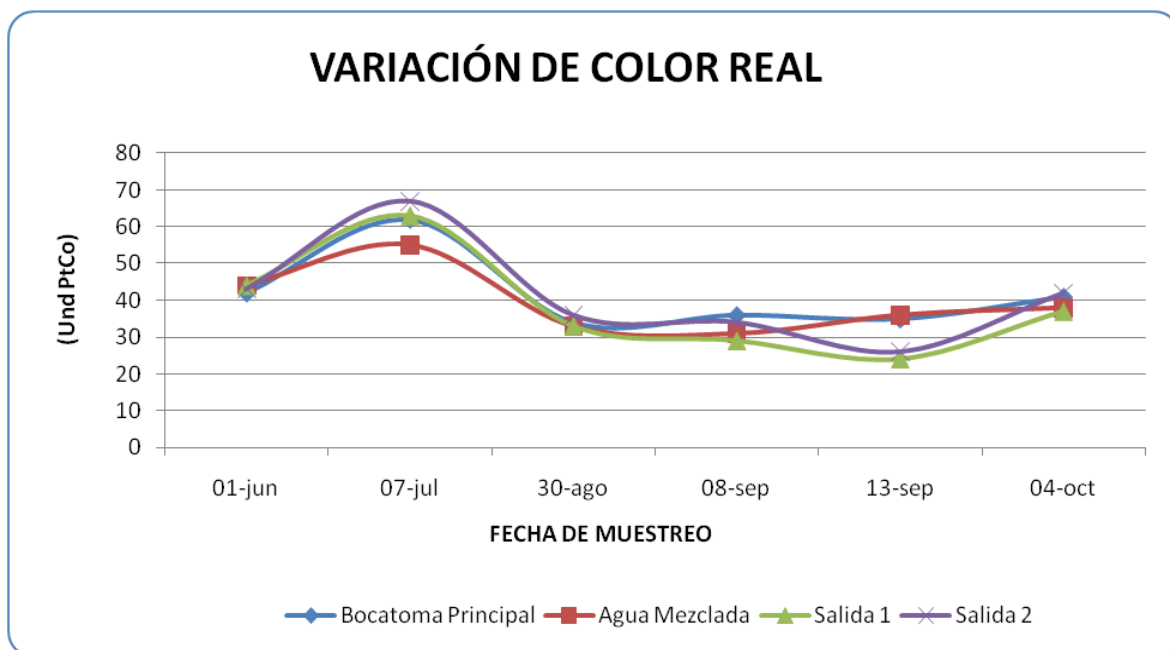
Parámetro	Punto de Muestreo	Promedio	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Datos
Color (Und PtCo)	BP	41,67	62,00	34,00	10,48	6
	AM	39,50	55,00	31,00	8,83	6
	S1	38,33	63,00	24,00	13,88	6
	S2	41,33	67,00	26,00	14,00	6

BP = Bocatoma Principal, AM = Agua Mezclada, S1 = Salida 1, S2 = Salida 2.

Los valores de color presentados en la tabla 13 y figura 11, comparados con los valores reportados por el RAS para aguas en estado natural (Anexo E) nos indican que son altos y además cataloga la fuente como deficiente para abastecimiento público. Estos valores de color sugieren la presencia de materia orgánica que es poco biodegradable como lo muestra la relación DBO/DQO la cual está por debajo de 0.3, esto puede explicarse a que usualmente las aguas de páramo, como en este caso, presentan valores altos de color debido a la presencia de sustancias húmicas poco degradables.

En la figura 11 se observa que todos los puntos de muestreo tienen similar comportamiento, además, un análisis de varianza realizado a los datos mostró que no se presentan diferencias significativas, con una significancia $\alpha = 0.05$, entre los promedios de las concentraciones de color con un rango relativamente bajo (Anexo C), lo cual implica que la producción de trucha como tal no tiene una influencia directa sobre este parámetro físico, indicando además, que no es necesario realizar tratamiento para obtener una disminución de color en el efluente de descarga, ya que esta es la composición natural de río Quintero.

Figura. 11. Variación de Color Real durante el periodo de muestreo



5.2.2.6. Nitratos

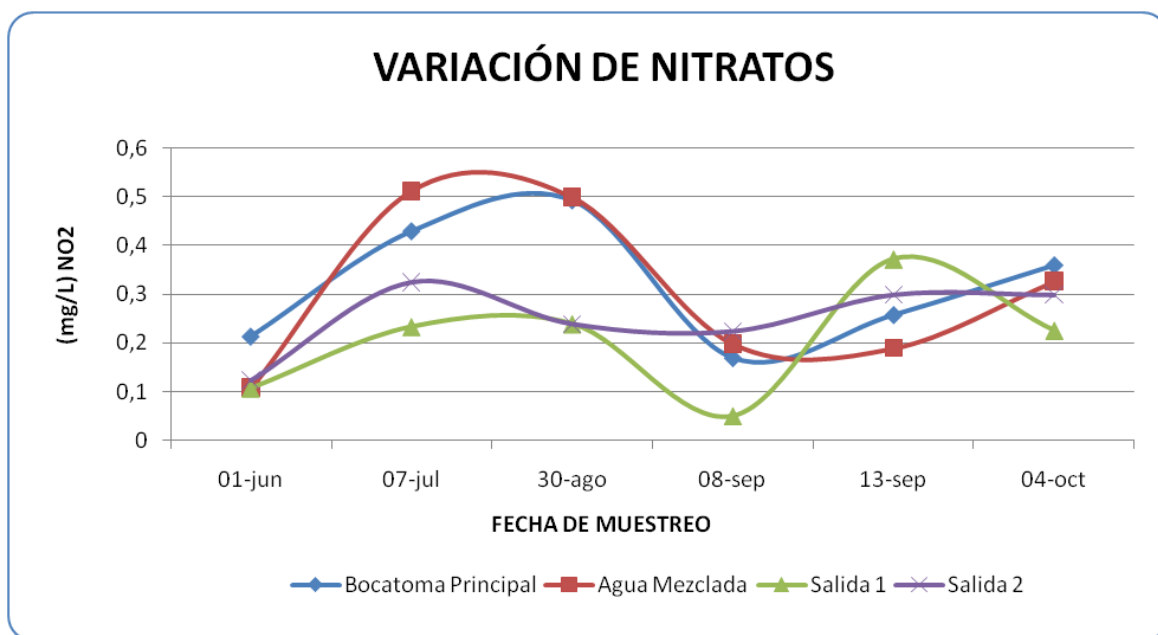
Los niveles de Nitratos encontrados en la estación piscícola (tabla 14 y figura 12) son muy bajos, presentándose el mayor valor en el muestreo realizado en el punto de mezcla de agua con un valor de 0,51 mg/L N-NO₃.

Tabla 14. Estadística Descriptiva de Nitratos para cada punto de Muestreo.

Parámetro	Punto de Muestreo	Promedio	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Datos
Nitratos (mg/L N-NO ₃)	BP	0,32	0,49	0,17	0,13	6
	AM	0,30	0,51	0,11	0,17	6
	S1	0,20	0,37	0,05	0,11	6
	S2	0,25	0,33	0,12	0,07	6

BP = Bocatoma Principal, AM = Agua Mezclada, S1 = Salida 1, S2 = Salida 2.

Figura. 12. Variación de Nitratos durante el periodo de muestreo



Estos niveles de Nitrato, según los reportados por Aguayo (2003), no presentan ningún problema para el cultivo de la trucha, debido a que en ninguno de los puntos de muestreo se supera el máximo permisible de 5 mg/L.

Según los valores de nitratos reportados en la tabla 14 y figura 12, se aprecia que la concentración de nitratos es baja, la cual puede explicarse por la presencia de ácidos húmicos, característica de las zonas de páramo en donde se encuentra ubicada la piscícola, los cuales influyen en la capacidad del suelo para retener y poner a disposición de las plantas el nitrógeno en forma amoniacal y nítrica, lo que implica que el aporte de Nitratos por escorrentía a la fuente de abastecimiento de la piscícola es baja, producto de la poca actividad agrícola y ganadera en la zona, como fue evidenciado en la inspección sanitaria.

Observando la figura 12, se aprecia una tendencia a que los Nitratos disminuyan al final del proceso de producción, sin embargo, un análisis de varianza realizado a los datos mostró que no se presentan diferencias significativas, con una significancia $\alpha = 0.05$, entre los promedios de las concentraciones de nitratos (Anexo C), lo que permite deducir que la producción de trucha en la piscícola Quintero no tiene mayor incidencia sobre este parámetro.

5.2.2.7. Fosfatos

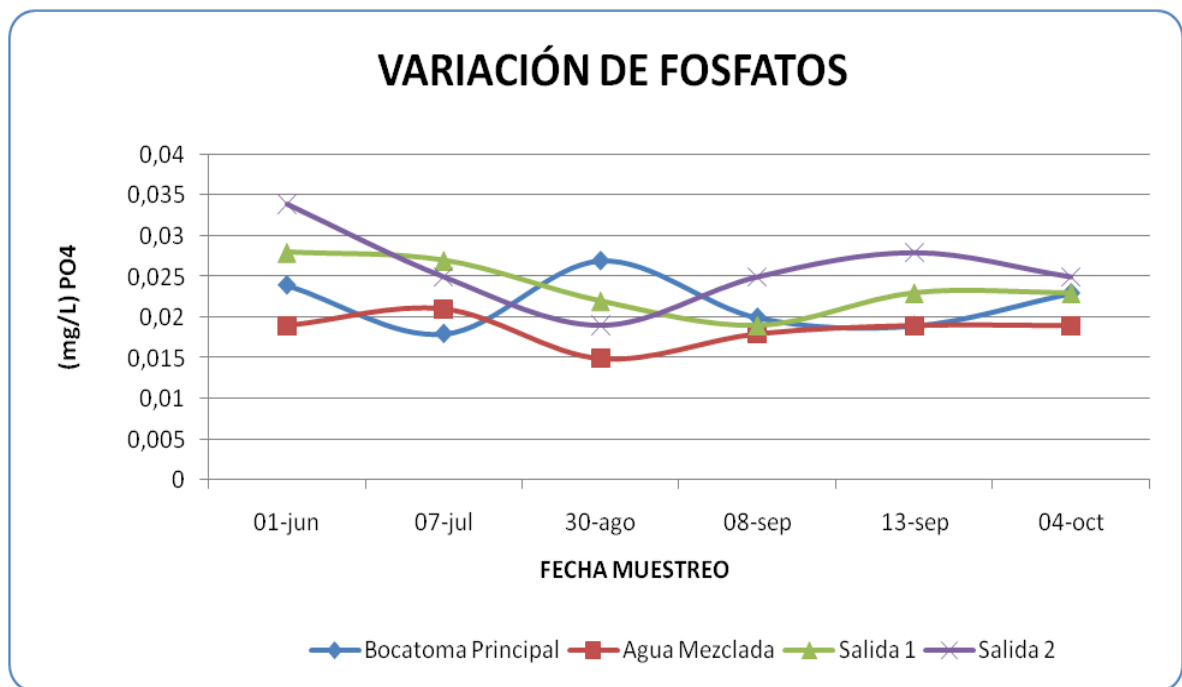
En la figura 13 y tabla 15, se muestra el comportamiento que tuvieron los Fosfatos durante el periodo de estudio. Estos niveles de Fosfatos, comparados con los reportados por Aguayo (2003), no presentan ningún problema para el cultivo de la trucha, debido a que en ninguno de los puntos de muestreo se supera el máximo permisible de 9,9 mg/L.

Tabla 15. Estadística Descriptiva de los Fosfatos para cada punto de Muestreo.

Parámetro	Punto de Muestreo	Promedio	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Datos
fosfatos (mg/L PO ₄)	BP	0,022	0,027	0,018	0,003	6
	AM	0,019	0,021	0,015	0,002	6
	S1	0,024	0,028	0,019	0,003	6
	S2	0,026	0,034	0,019	0,005	6

BP = Bocatoma Principal, AM = Agua Mezclada, S1 = Salida 1, S2 = Salida 2.

Figura 13. Variación de Fosfatos durante el periodo de muestreo



El análisis de varianza realizado a los datos mostró que se presentan diferencias significativas, con una significancia $\alpha = 0.05$, entre los promedios de las concentraciones de Fosfatos (Anexo C), esto puede explicarse, debido a que el Fósforo generado en la piscícola se deriva del excremento, la orina, el alimento

desechado, y/o materia orgánica, que al sedimentarse en el interior de los estanques, y por efecto del tiempo de retención del lodo al interior de los mismos, por un periodo aproximado de 30 días, se generan procesos de descomposición que dan origen a la forma diluida del fósforo (ortofosfatos) (Ackefors y Enell, 1994; Cho, 1994), los cuales son descargados sobre el río Quintero, incrementando la concentración de este parámetro en el transcurso del proceso productivo.

5.2.2.8. Coliformes Fecales

Tabla 16. Estadística Descriptiva de Coliformes Fecales para cada punto de Muestreo.

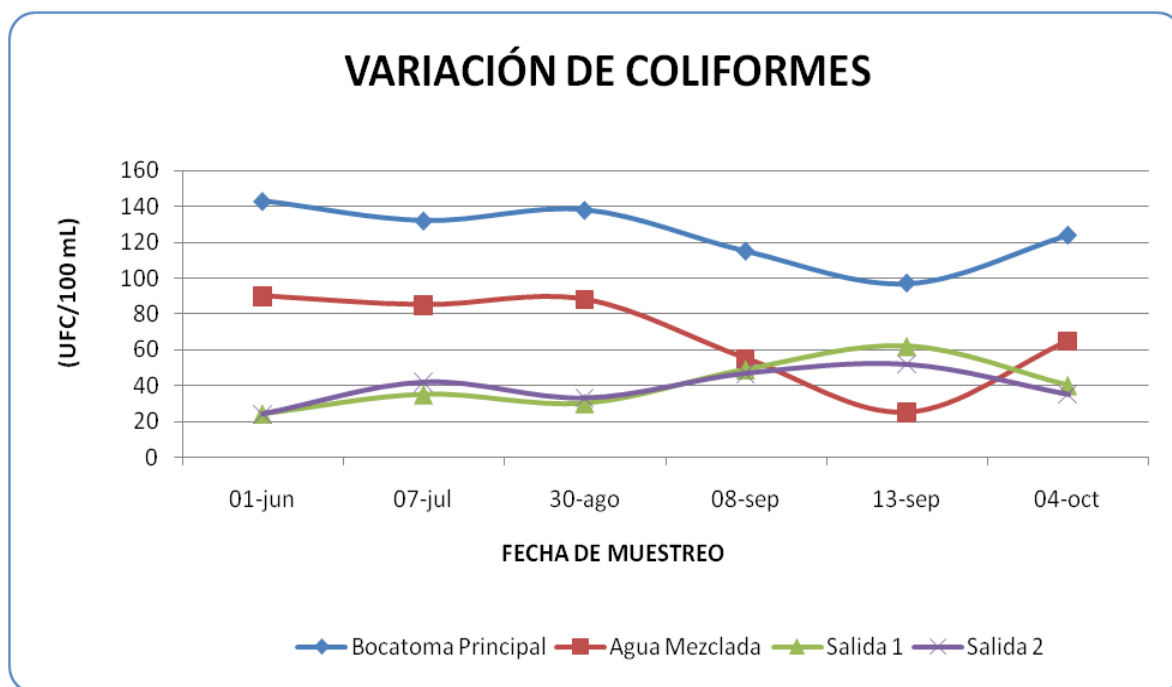
Parámetro	Punto de Muestreo	Promedio	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Datos
Coliformes (UFC/100mL)	BP	125	143	97	17	6
	AM	68	90	25	25	6
	S1	40	62	24	14	6
	S2	39	52	24	10	6

BP = Bocatoma Principal, AM = Agua Mezclada, S1 = Salida 1, S2 = Salida 2.

La estadística descriptiva de este parámetro (tabla 16 y figura 14) y el análisis de varianza realizado a los datos mostró que se presentan diferencias significativas, con una significancia $\alpha = 0.05$, entre los promedios de las concentraciones de coliformes (Anexo C). Estas diferencias como lo muestran los promedios, se asocian a la concentración de coliformes que van disminuyendo a medida que avanza el proceso productivo, es decir, se está presentando un efecto positivo, esto puede explicarse como el resultado de los siguientes fenómenos: radiación solar, carencia de nutrientes y temperatura, además, del tiempo de retención hidráulico de la piscícola y la cantidad de bacterias que se sedimentan con las heces de los peces y el alimento no consumido en el interior de los estanques (Romero 1998), lo que hace que en el efluente principal de descarga la concentración de coliformes sea menor que en la bocatoma principal del sistema.

Los valores de coliformes encontrados en la bocatoma principal del sistema, sugieren una leve contaminación bacteriana que puede ser producto de la actividad ganadera en la zona, según fue verificado en la inspección sanitaria en donde no se encontró ningún otro foco de contaminación sobre la fuente que abastece la estación piscícola Quintero.

Figura 14. Variación de Coliformes fecales durante el periodo de muestreo



5.2.2.9. pH

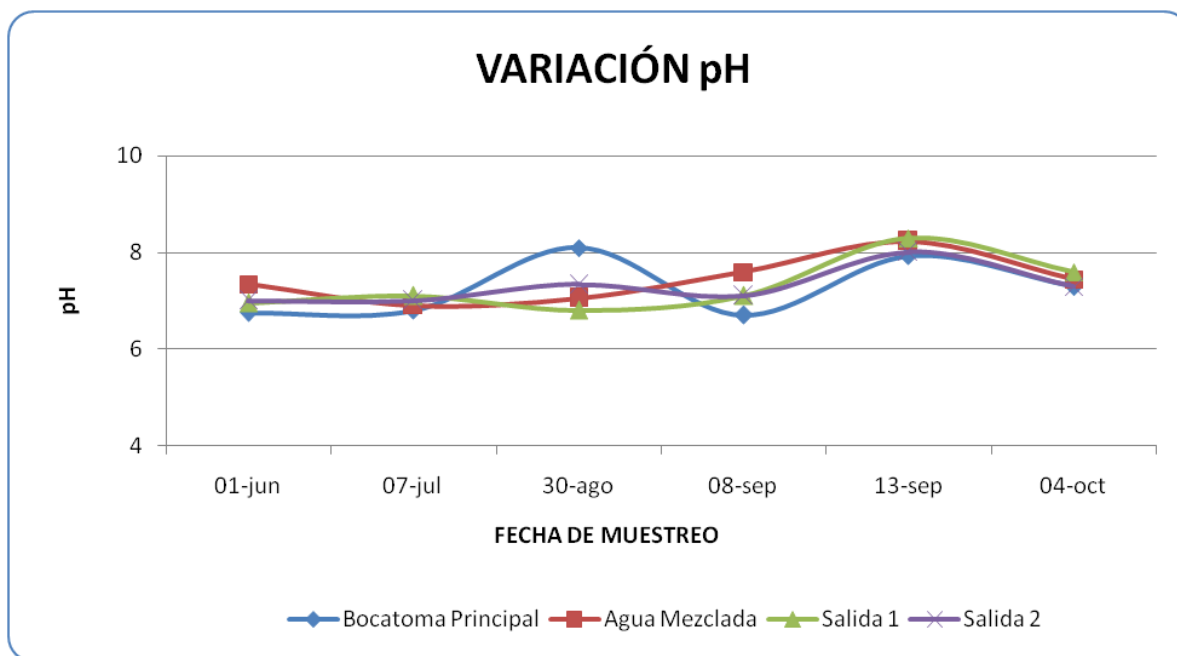
Los valores de pH encontrados en la piscícola (tabla 17) están en el rango de 6,5 a 9,5 unidades, lo que para Carmen Blanco (1995) no presenta ningún peligro para los peces, excepto si al mismo tiempo están presentes compuestos amoniacales, caso que no se presenta en la piscícola Quintero, pues los valores encontrados de nitratos y los niveles de oxígeno permiten deducir que no hay riesgo de formación de compuestos amoniacales en altas concentraciones por efecto de los procesos de nitrificación y desnitrificación.

Tabla 17. Estadística Descriptiva de pH para cada punto de Muestreo.

Parámetro	Punto de Muestreo	Promedio	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Datos
pH	BP	7,26	8,10	6,70	0,62	6
	AM	7,43	8,24	6,90	0,47	6
	S1	7,31	8,30	6,80	0,56	6
	S2	7,29	8,01	7,00	0,38	6

BP = Bocatoma Principal, AM = Agua Mezclada, S1 = Salida 1, S2 = Salida 2.

Figura. 15. Variación de pH durante el periodo de muestreo



Según la figura 15, se observa que durante todo el periodo de estudio, el pH presenta muy pocas variaciones a medida que avanza el proceso productivo, mostrando que la producción de trucha no tiene mayor influencia sobre este parámetro.

En resumen, la estadística descriptiva muestra que los parámetros medidos presentan una buena correlación estadística, indicando que los resultados obtenidos para cada una de las pruebas son confiables. Esto permite afirmar que el agua que circula por la piscícola es de buena calidad, con un contenido bajo de sólidos en suspensión (lo cual se refleja en la baja turbiedad del agua). El pH se encuentra dentro del rango de neutralidad normal. La concentración de sustancias orgánicas degradables, expresada por la DBO y DQO es baja, lo cual es concordante con los altos niveles de oxígeno disuelto que se determinaron, todos muy cerca del nivel de saturación, pues se tiene un porcentaje de saturación promedio del 75% y puede alcanzar valores máximos de 85%.

Los análisis fisicoquímicos realizados en la piscícola Quintero, señalan que las condiciones para la producción de trucha en la zona son las adecuadas, comparados con los estudios realizados por Aguayo (2003) mostrados en la tabla 1, exceptuando las épocas de lluvia donde se presentan incrementos de algunos parámetros como sólidos y turbiedad que traen problemas para la incubación de ovas y cría de alevines lo que hace necesario la implementación de un sistema de tratamiento que permita mantener estos parámetros en niveles bajos y constantes.

5.2.3. Análisis Efluente de lavado proveniente de un solo estanque

El agua de lavado del estanque presentó un caudal aproximado de 9.56 L/s, durante un periodo de 15 minutos por día, lo que implica un volumen de agua de 8,03 m³ por día. Comparando este valor de caudal con los encontrados en el efluente principal se aprecia que la cantidad de agua de lavado descargado sobre el río Quintero es mucho menor, indicando que para efectos de costos es más factible realizar el tratamiento al agua de lavado, que al efluente principal de descarga de la piscícola.

Para caracterizar la calidad del efluente, se tomaron dos muestras, una a los 5 minutos de iniciado el desagüe del estanque, momento en el cual el operador inicia el arrastre de lodo hacia el desagüe y otra a los 14 min, momento en el cual finaliza la operación de barrido del estanque. Los valores obtenidos y los parámetros fisicoquímicos realizados para el agua de lavado del estanque se relacionan en la tabla 18.

Como muestran los resultados de laboratorio para el agua de lavado del estanque (tabla 18), la carga orgánica (DBO y DQO), los sólidos suspendidos totales y la turbiedad se incrementan considerablemente, en contraste con los nitratos, fosfatos, color y pH que presentan variaciones muy leves con relación a los resultados obtenidos durante todo el proceso de producción piscícola, mostrando que la producción de trucha en la estación piscícola Quintero no tiene mayor influencia con el contenido de estos parámetros en el agua residual. Sin embargo, esto no descarta que el nitrógeno y el fósforo se encuentren presentes como otras especies distintas a las medidas en la presente evaluación.

Los valores de carga orgánica, como ya se mencionó, presentan un considerable incremento con relación a los valores obtenidos con el efluente principal, por tal razón se hace necesario realizar un análisis más detallado a estos valores.

Tabla 18. Valores de Parámetros fisicoquímicos en el agua de lavado de estanques.

PARAMETRO	Previo al Lavado	Lavado 5min	Lavado 14 min
O.D. (mg/L)	7,40	1,90	2,80
DBO (mg/L)	1,02	135,30	77,10
DQO (mg/L)	5,15	193,30	110,12
Turbiedad (UNT)	3,34	145,00	125,00
SST (mg/L)	4,42	422,00	326,00
Color (Und PtCo)	39,83	55,00	49,00
Nitratos (mg/L N-NO3)	0,23	0,79	0,76
fosfatos (mg/L PO4)	0,025	0,52	0,39
pH	7,30	6,22	6,46

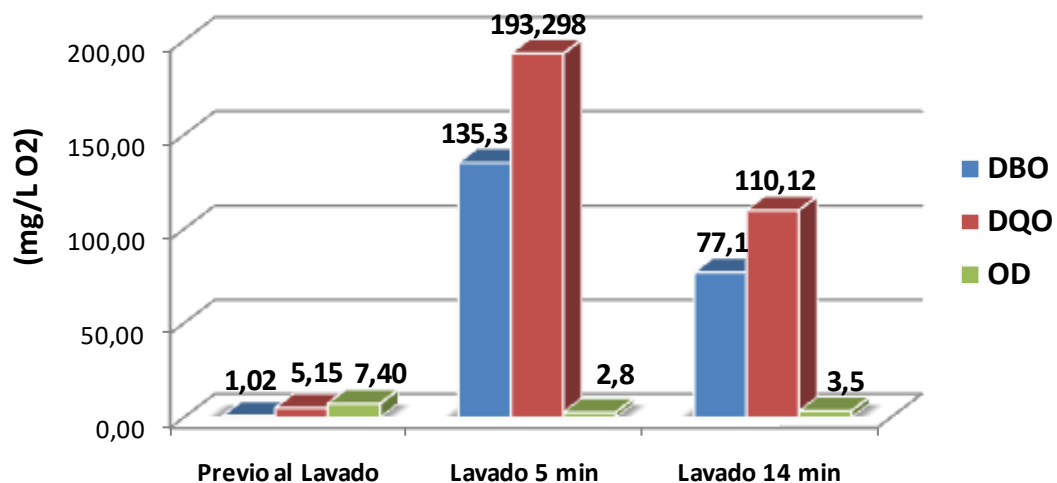
5.2.3.1. OD, DBO y DQO obtenidos durante el lavado

Al mirar la figura 16 se puede comparar el efluente de salida, donde los valores de DBO y DQO son bajos, con los valores presentados durante el lavado del estanque, también se aprecia una notable disminución del oxígeno disuelto en el agua. Además, la figura 16 muestra que la mayor cantidad de carga orgánica se genera en los primeros 5 minutos del lavado del estanque donde alcanzan valores para DBO y DQO de 135,3 y 193,29 mg/L O₂ respectivamente, indicando el alto nivel de contaminación orgánica que presenta el agua.

Al finalizar el tiempo de lavado (14 minutos), la carga orgánica disminuye hasta valores de 77,1 mg/L para DBO y 110,12 mg/L para DQO, lo que muestra que durante todo el periodo de lavado se están vertiendo aguas con alto nivel de contaminación orgánica sobre el río Quintero, acorde con los bajos niveles de oxígeno disuelto encontrados. Estos valores se deben en parte al exceso de materia orgánica en descomposición, que se encuentra en el fondo del estanque, procedente en su mayoría de restos de alimentos y heces, pues según valores reportados por Kubitzka (1999) entre el 25 y el 30 % del alimento consumido por los peces, se convierte en residuo fecal.

Figura 16. Comportamiento OD, DBO y DQO en el lavado del estanque

Comportamiento OD, DBO y DQO Durante el Lavado de Estanques

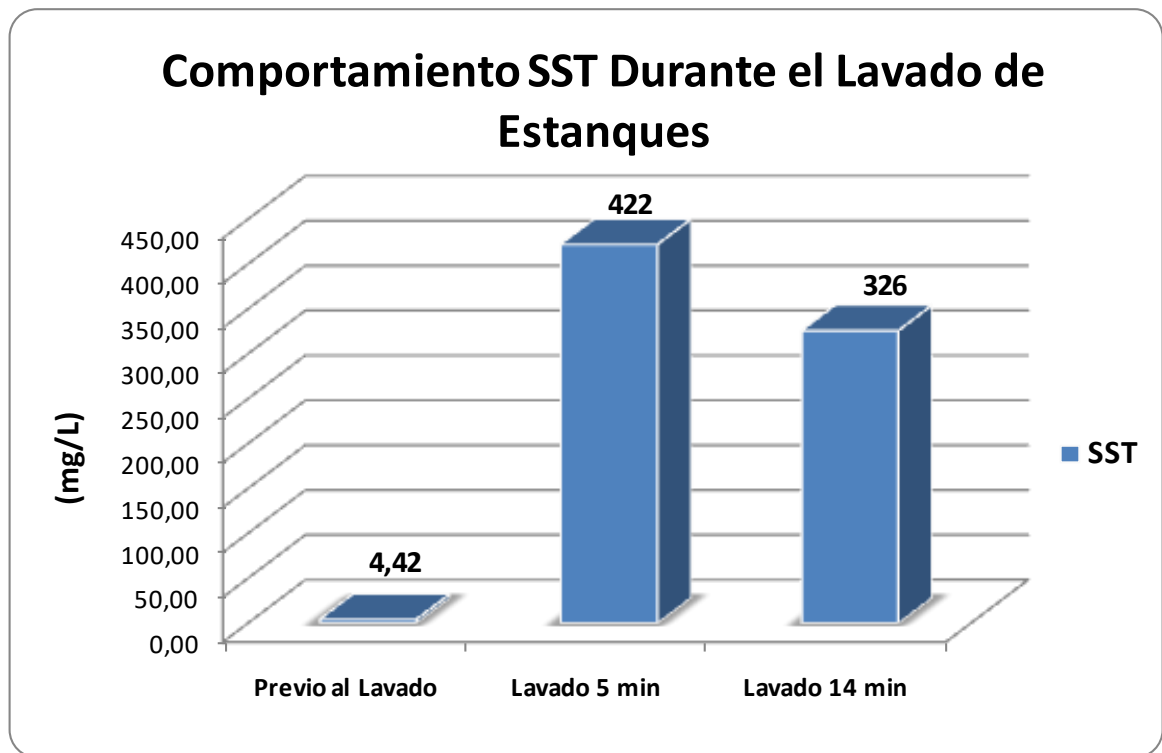


La relación DBO/DQO para los 5 y 14 minutos de lavado está por encima de 0,65 lo que muestra que el efluente de lavado presenta una carga orgánica altamente biodegradable. Esto indica que el agua proveniente del lavado de estanques es susceptible a tratamiento biológico para disminuir su impacto sobre el río Quintero.

5.2.3.2. SST obtenidos durante el lavado

En la figura 17 se observa la tendencia de sólidos suspendidos totales. En ella se puede determinar un incremento considerable de sólidos durante los primeros 5 minutos del lavado del estanque, alcanzando valores de 422 mg/L. Al final del periodo de lavado (14 minutos) se obtienen valores de 326 mg/L. Estos contenidos de sólidos están asociados al material arrastrado por la fuente de abastecimiento, la cantidad de alimento no consumido por los peces y las heces fecales de los mismos.

Figura 17. Comportamiento SST durante el lavado estanque

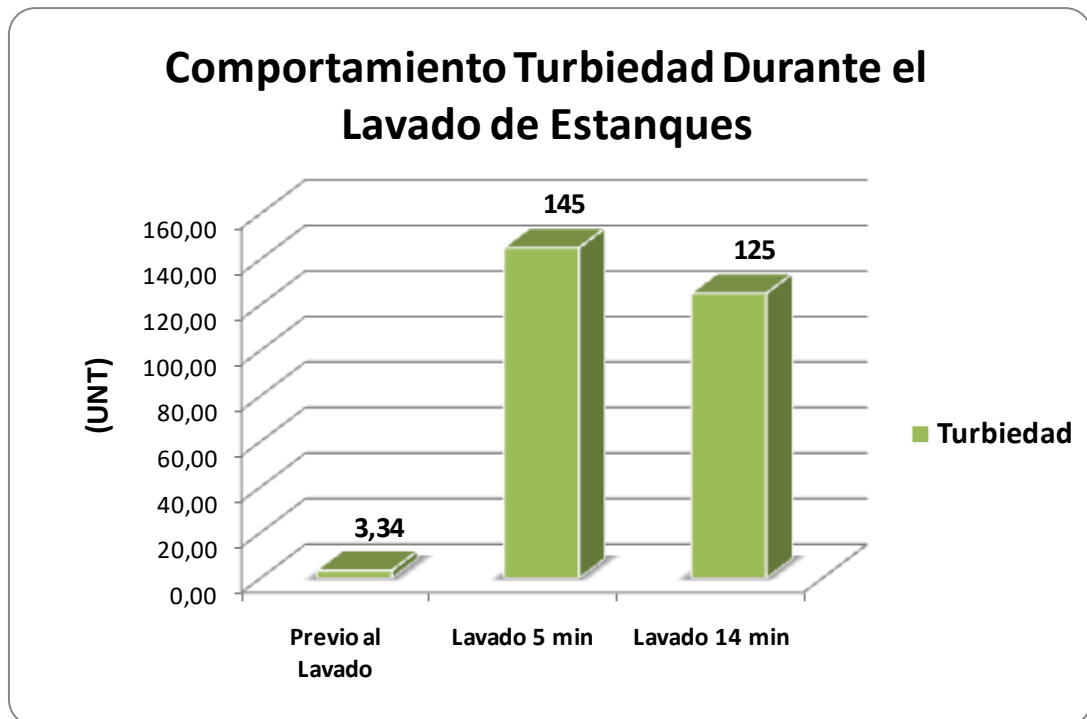


La carga de sólidos generada en el lavado del estanque está alrededor de 3,39 Kg/mes con un caudal de 9,6 L/s, durante un periodo de 14 min. Considerando que en la piscícola hay alrededor de 30 estanques se tiene una carga total en sólidos de 101,66 Kg/mes. Mientras que en el efluente principal la carga de sólidos estimada (figura 17) presenta un valor aproximado de 1150 Kg/mes para un caudal de 59,33 L/s. Este último valor de carga de sólidos, indica que el efluente principal está generando impactos mínimos sobre el río Quintero, pues su magnitud es muy similar al que tiene el río en su estado natural, como lo mostró el análisis estadístico de varianza realizado a los parámetros fisicoquímicos (Anexo C). Esto muestra que el problema de contaminación se está generando durante el lavado de estanques donde se presenta una alta descarga puntual de sólidos en un corto periodo de tiempo por día sobre el río Quintero. Además, la diferencia de caudales obtenidos en los dos tipos de efluentes generados en la piscícola sugiere que es más factible realizar tratamiento al efluente de lavado que al efluente principal, debido a que éste es mucho menor, lo que facilitaría el diseño del sistema y su implementación.

5.2.3.3. Turbiedad obtenida durante el lavado

La Figura 18 muestra que la turbiedad presenta un valor máximo de 145 UNT para los primeros 5 minutos de lavado del estanque y disminuye hasta 125 UNT al final del lavado (14 minutos), al comparar con los valores obtenidos para el efluente principal, se aprecia un notable incremento. Estos resultados de turbiedad, están correlacionados con los valores de sólidos encontrados durante el periodo de lavado.

Figura 18. Comportamiento de Turbiedad durante el lavado del estanque



Además los resultados encontrados son acordes con las investigaciones realizadas por (Foy y Rosell, 1991; Bergheim, 1993), donde establecen que las principales concentraciones de SST, DBO, DQO, fósforo y nitrógeno se encuentran en el lodo generado en la producción piscícola a diferencia de las encontradas en el efluente principal de descarga donde se tienen concentraciones de sólidos suspendidos menores a 5 mg/L y fósforo total menor a 0,1 mg/L, lo que dificulta su tratamiento, además, considerando que estos son los resultados del lavado de un solo estanque y que en total se tienen alrededor de unos 30 estanques con una frecuencia de lavado de una vez por mes cada uno, es decir, cerca de un lavado por día, se tiene una considerable contaminación sobre el río Quintero, por tal razón, es importante implementar un sistema que permita dar tratamiento a estas aguas residuales del lavado para minimizar los impactos sobre el río Quintero.

6. DISCUSIÓN ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

Al observar los caudales del sistema (Tabla 8) se tiene que en promedio ingresa a la piscícola alrededor de 68 L/s y salen 59 L/s lo que para efectos de diseño y construcción generaría altos costos en la implementación de un sistema para el tratamiento de estos volúmenes de agua.

Para el caso de Afluente, se tiene en cuenta que en general la fuente de abastecimiento presenta buenas condiciones de calidad de agua para producción de trucha, según los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados, de esta manera, no se hace necesario el tratamiento para todo el caudal de ingreso a la piscícola, sino aquel que es utilizado para la siembra de ovas donde se requiere de una situación constante con muy bajos niveles de turbiedad y sin partículas en suspensión. Adicional a esto el agua a tratar no solo va a ser utilizada para la incubación de ovas, sino también para consumo de los habitantes de la estación piscícola, por tal motivo se hace necesario que el sistema a implementar, garantice una buena calidad de agua que no genere riesgos para los habitantes de la piscícola, ni tampoco para los peces en incubación y alevinaje.

En el caso de los efluentes, los análisis de laboratorio realizados (tabla 20), muestran que el mayor problema de contaminación no se presenta en el efluente principal de descarga como tal, pues los resultados sugieren que presenta un grado de contaminación bajo, sino específicamente en el agua de lavado de los estanques donde se observa un incremento considerable de las cargas orgánicas y del contenido de sólidos suspendidos, de esta manera, teniendo en cuenta que se realiza un lavado por día con una duración aproximada de 14 min y un caudal de 9,56 L/s para el estanque del mayor capacidad, se tiene que el sistema de tratamiento a implementarse debe garantizar el tratamiento del volumen de agua producido en cada lavado.

Los sistemas de tratamiento para el afluente y el agua de lavado de estanques piscícolas a implementarse, deben considerar la no utilización de agentes químicos que puedan generar problemas a los peces en incubación y aquellos que se encuentren en el río Quintero, además, deben acomodarse a las características rurales del entorno, donde la disponibilidad del terreno es escasa debido a las condiciones topográficas de la zona, lo que dificultaría la implementación de tecnologías que presenten altos requerimientos de área para su adecuado funcionamiento, o condiciones de operación y mantenimiento que difícilmente se pueden garantizar localmente. Adicional a esto, la piscícola no cuenta con una

infraestructura eléctrica para soportar tecnologías que necesiten requerimientos energéticos.

De acuerdo a lo anterior, las posibles alternativas de tratamiento para el afluente y el agua de lavado de los estanques se describen a continuación.

6.1. TRATAMIENTO DE AFLUENTE

6.1.1. Sedimentador Primario

Esta tecnología de tratamiento es viable para su implementación en la piscícola Quintero, debido a que este sistema no requiere energía eléctrica para su funcionamiento, no requiere agentes químicos para la remoción de contaminantes y las funciones de operación y mantenimiento son básicas, por tal razón, no se necesita de personal calificado para su funcionamiento.

Sin embargo, este sistema para el tratamiento del afluente, sería poco viable debido a que las eficiencias de remoción para sólidos suspendidos y turbiedad podrían ser insuficientes para garantizar una fuente de agua adecuada para las etapas de incubación y alevinaje, si se consideran las cargas superficiales promedio, ya que son poco eficientes con fuentes que tengan concentración de sólidos y turbiedad relativamente bajos, según los estudio realizados por Kelly (1997), como sucede en la fuente que abastece la piscícola que presenta concentraciones de sólidos por debajo de 5 mg/L. En cuanto a calidad microbiológica, este sistema presenta muy bajas eficiencias de remoción, lo que implica, que podría generar problemas para las personas que habitan la piscícola.

6.1.2. Filtro Grueso Dinámico

La filtración gruesa dinámica es una buena opción porque permite reducir la concentración de material suspendido y turbiedad, además, se han registrados remociones significativas de parámetros microbiológicos (Galvis, Latorre, y Visscher. 1999), adicional a esto, hay que mencionar que esta tecnología no requiere de costos energéticos ni agentes químicos para su buen funcionamiento.

La dificultad de implementar este sistema radica en que en la fuente se presentan incrementos de sólidos suspendidos como producto de las épocas de lluvia como

fue evidenciado en la inspección sanitaria. Estas variaciones en los sólidos suspendidos podrían generar la obstrucción de la unidad, trayendo como consecuencia el cierre parcial o total del suministro de agua a la sala de incubación y alevinaje, lo que ocasionaría la muerte de los animales en esta etapa de producción.

6.1.3. Filtración Gruesa de Flujo Ascendente

La Filtración Gruesa de Flujo Ascendente ha registrado remociones importantes en sólidos suspendidos, coliformes, color y turbiedad con valores de remoción hasta el 90% de sólidos suspendidos y turbiedad y de 20 a 50% para color según investigaciones realizadas por Galvis, Latorre, y Visscher (1999). Esta condición hace que ésta tecnología sea viable de ser implementada para satisfacer las condiciones de calidad de agua requeridas en la incubación y alevinaje, así como también para el agua de consumo de los habitantes de la piscícola. Hay que mencionar que este sistema no requiere insumos químicos ni energía eléctrica para su funcionamiento. Adicional a esto, este sistema tiene la ventaja de garantizar un flujo constante de agua, debido a que la acumulación de sólidos se presenta en el fondo del filtro cerca del sistema de drenaje, lo que facilita el lavado hidráulico, minimizando las posibilidades de taponamiento. Otra ventaja de la implementación de este sistema es su fácil operación y mantenimiento.

En conclusión: para el tratamiento del agua utilizada en la siembra de ovas y para el consumo de los habitantes de la piscícola, se ha considerado como alternativa que se adapta mejor a las condiciones del entorno la implementación de un filtro grueso en grava de flujo ascendente el cual permite mejorar la calidad física (turbiedad, color, sólidos suspendidos) y microbiológica del agua con el que se podrá garantizar un buen crecimiento de ovas, y adicionalmente una calidad adecuada que disminuya el riesgo para los habitantes de la piscícola.

6.2. TRATAMIENTO DE AGUA DE LAVADO

6.2.1. FAFA

El filtro anaerobio es excelente para retener biosólidos, por lo que su aplicación está muy difundida, para su funcionamiento no requiere energía eléctrica y presenta ventajas como menor producción de lodos y lodos mas estabilizados. El principal problema con este sistema es la obstrucción por sólidos en suspensión en el efluente y minerales precipitados. Debido a este problema potencial, los

sistemas de lecho de relleno funcionan mejor con aguas residuales que contienen pocos sólidos en suspensión, ya que estos se eliminan probablemente en el proceso y en los espacios de poro obstruidos.

Esta tecnología de tratamiento, sería viable de ser implementada debido a que el agua de lavado presenta una alta carga de materia orgánica lo que facilitaría la formación de biopelícula, sin embargo, para que este sistema funcione correctamente es necesario realizar pre-tratamiento al agua de lavado para disminuir el contenido de sólidos suspendidos, lo que incrementaría los costos de inversión, además, los FFAA presentan gran cantidad de zonas muertas, cortos circuitos y bajos tiempos de retención hidráulicos no acordes con los del proceso. Por esta razón los costos de mantenimiento sobrepasan los de operación, dificultando su implementación para el tratamiento de efluentes piscícolas.

6.2.2. Humedales Artificiales

Los Humedales Artificiales se basan en la utilización de plantas emergentes para la depuración de las aguas residuales, reproduciendo artificialmente las condiciones propias de las zonas húmedas naturales. Existen dos tipos de sistemas de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de agua residual; Sistemas a Flujo Libre (FWS) y Sistemas de Flujo Subsuperficial (SFS). Estas tecnologías presentan buenas eficiencias de remoción en cuanto a cargas orgánicas, nitrógeno y fosforo, lo que la hace factible de ser implementada para realizar tratamiento al agua residual piscícola, adicional a esto los gastos de operación y mantenimiento son bajos, su principal inconveniente es que generalmente requieren grandes extensiones de terreno, y el rendimiento del sistema puede ser menos constante que el de un proceso convencional.

En el caso de la piscícola Quintero, esta tecnología se acomoda a las condiciones rurales del entorno, sin embargo, hay que prestar atención a los requerimientos de área, por tal razón en el momento no es susceptible de ser implementada, no obstante, podría tenerse en cuenta en un futuro como un tratamiento complementario al que se implemente en la actualidad.

6.2.3. Sedimentador Primario

Para el tratamiento del agua de lavado este tipo de sistema sería muy viable debido a que presentan altas eficiencias de remoción cuando las concentraciones de sólidos suspendidos y turbiedad son altas, como es el caso del agua de lavado

de estanques de la piscícola en estudio, además, el caudal de lavado generado en la piscícola es menor al 10% del flujo de descarga principal, lo que para Cripps y Kelly (1996) es ideal para una apropiada concentración de sólidos por sedimentación pues no se presentaría problemas en la dinámica del flujo.

En conclusión: para el tratamiento del agua de lavado de estanques, se ha considerado la alternativa más viable, la implementación de un sedimentador simple, el cual permitirá disminuir la concentración de carga orgánica y SST. Sin embargo, se recomienda buscar la posibilidad de complementar el tratamiento con un humedal, que permita reducir la contaminación orgánica del efluente.

Estos tratamientos serán complementados con un lecho de secado que permitirá disponer el lodo generado en cada proceso de tratamiento como sólido seco.

7. DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS SELECCIONADOS

7.1. FILTRO GRUESO ASCENDENTE EN CAPAS

Caudal de diseño: se consideró dos tipos de caudales: El primero para la cría de las ovas que, de acuerdo al aforo realizado presentó un valor de 2,29 L/s (tabla 8) que es muy superior al valor calculado a partir de la información reportada por MacMillan (1992) el cual es de 0,42 L/s para una producción de 50000 ovas (volumen de producción en la piscícola Quintero), mostrando que no es necesario tratar todo el volumen de agua que está ingresando a la sala de incubación, sino el estrictamente necesario para las 50000 ovas, por tal motivo se tendrá en cuenta el valor reportado por MacMillan con un factor de seguridad de 2,5 obteniéndose un caudal para la cría de ovas de 1,05 L/s. Este factor de seguridad, aunque parece un poco alto, se ha considerado en esta magnitud, debido al alto riesgo al que pueden estar sometidas las ovas por falta de agua. El segundo caudal considerado es el de abastecimiento de la vivienda, el cual fue calculado según la metodología del RAS para una población de 35 personas, dando como resultado 0,08 L/s, de esta manera, se tiene un caudal total de diseño de 1,13 L/s (Ver anexo F).

Las características del filtro se muestran a continuación, los cálculos detallados de este sistema se presentan en el anexo F, en el anexo I se muestran los accesorios del sistema y en el anexo J se muestran las recomendaciones de mantenimiento y limpieza.

Velocidad de Filtración: 0,6 m/h

Área total de Filtración: 6,78 m²

Número de Unidades en Serie: 1 unidad.

Número de Unidades en paralelo: 1 unidad.

Material Filtrante: Canto rodado, con solubilidad al HCl menor al 5% y contenido de lodo menor al 1%. Los tamaños recomendados se reportan en la tabla 19.

Tabla 19. Especificaciones del lecho filtrante y su ubicación en el filtro grueso ascendente en capas.

Tamaño (pulgadas)	Espesor (m)	Ubicación
1 – ¾	0,3	Fondo
¾ - ½	0,25	Intermedio
½ - ¼	0,20	Intermedio
¼ - 1/8	0,15	Intermedio
1/8 - 1/16	0,10	Superior.

FERNÁNDEZ, J, GALVIS G. LATORRE J y VISSCHER J. T. 1998

Sistema de drenaje: Tubería PVC Sanitaria en forma de peineta con diámetro principal en 6 pulgadas y laterales en 3 pulgadas, con una separación entre laterales de 0,65 m perforados con orificios de 0,5 pulgadas distribuidos cada 0,22 m, en la salida de la tubería principal se tiene una válvula de apertura rápida tipo Waffer de 4 pulgadas.

Las dimensiones de Filtro son de 2,6 m de ancho x 2,6 m de largo x 1,3 m de profundidad. En la figura 18 se presenta el esquema del filtro y sus dimensiones.

La tasa de lavado del filtro es de 15 m/h con un caudal de 28,25 L/s.

Para la ubicación de este sistema (fotografía 5), ya se encuentra definido el lote para su construcción, junto con su respectivo lecho de secado (figura 25 y 26)



Fotografía 5. Lote Ubicación del Filtro en Grava

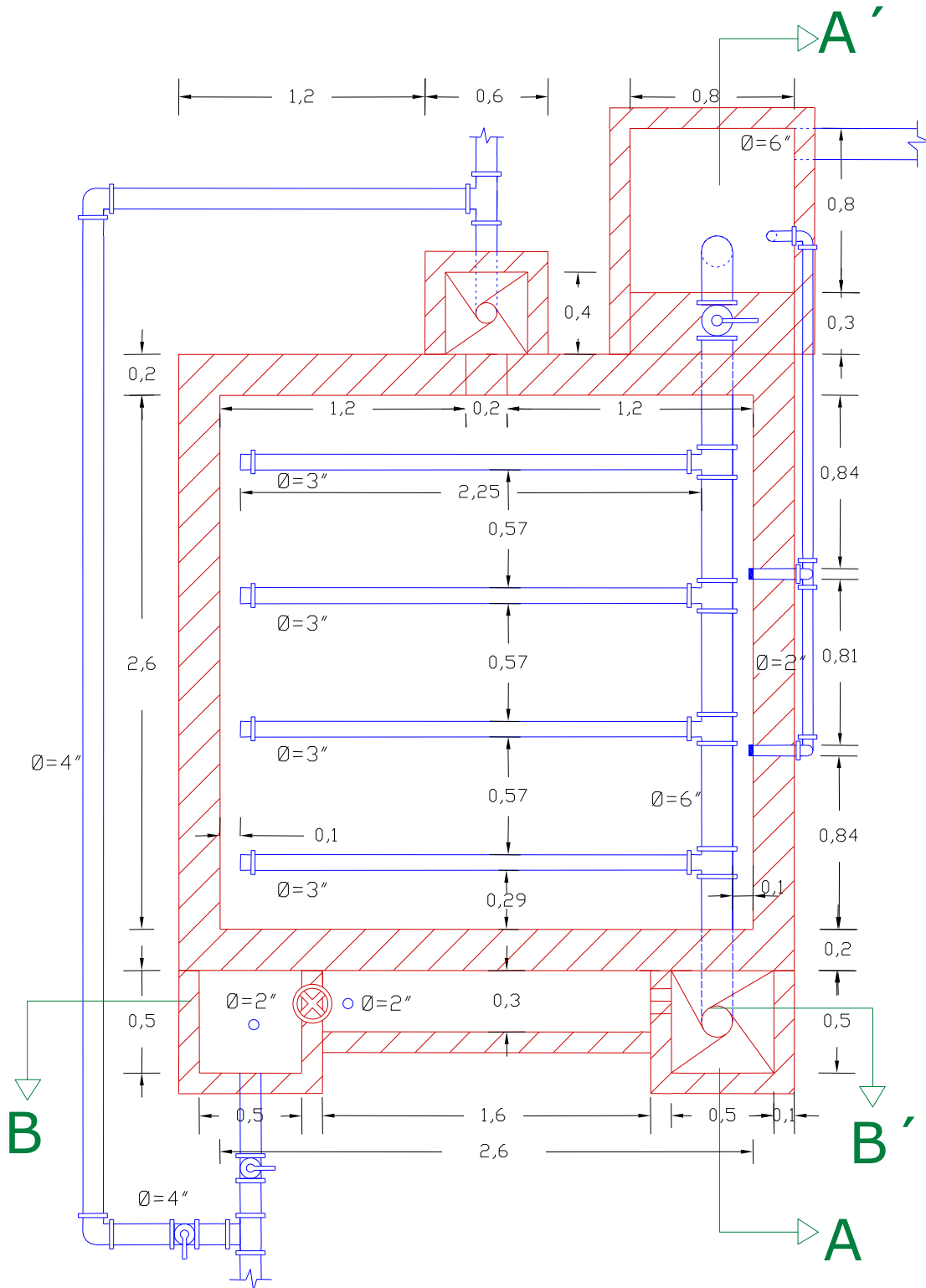


Figura. 19 Planta Filtro Grueso de Flujo Ascendente

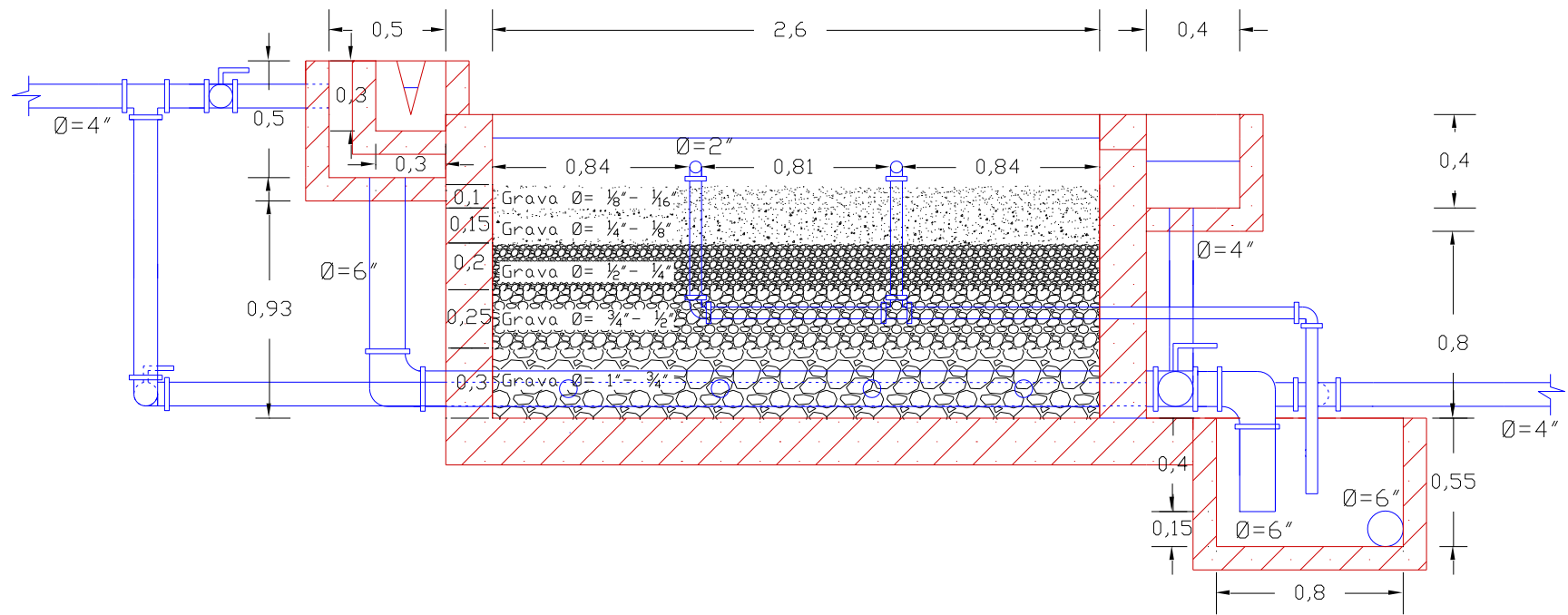


Figura 20. Corte AA, Filtro Grueso Ascendente.

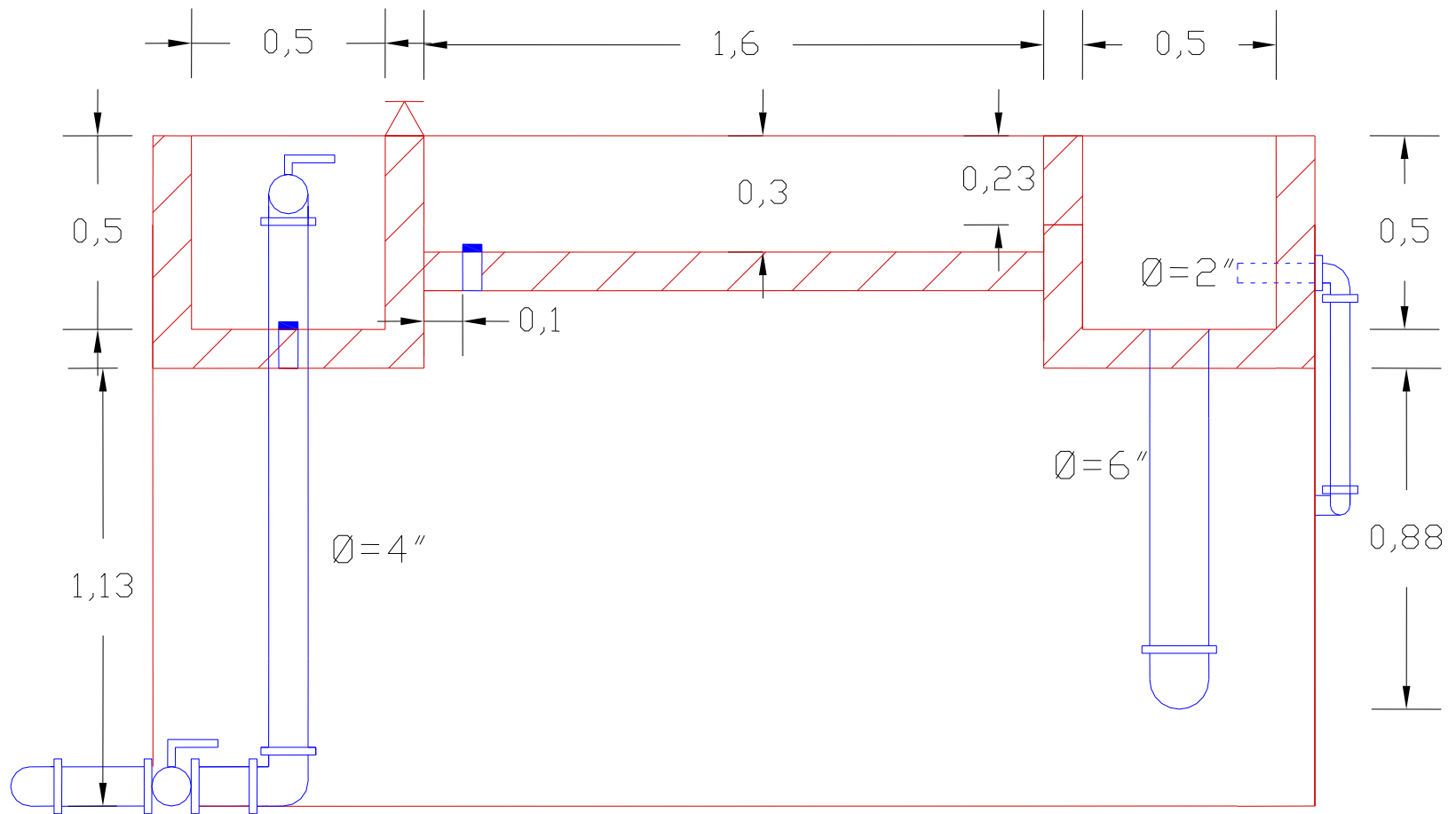


Figura 21. Corte BB, Filtro Grueso Ascendente

7.2. SEDIMENTADOR PRIMARIO

Considerando que el tiempo de lavado es de apenas unos 14 minutos y que el caudal medido fue de 9.56 L/s, y que durante el día solo se lava un estanque, el sedimentador será calculado para almacenar todo el volumen de agua del lavado y permitir su sedimentación por un tiempo de aproximadamente dos horas. Después de este tiempo se evacuará el sobrenadante enviándolo, preferiblemente a una segunda etapa de tratamiento o al río, mientras que el lodo retenido será extraído del fondo y enviado a un lecho de secado.

El caudal del diseño es el medido al lavado del estanque de mayor capacidad el cual presenta un valor de $Q = 9.56 \text{ L/s} = 825.98 \text{ m}^3/\text{día}$.

Número de estanques lavados por día = 1

Tiempo de lavado por día = 14 minutos

Volumen de agua a tratar por lavado

$$V = \frac{9.56 \text{ L}}{\text{s}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} * 14 \text{ min} = 8.03 \text{ m}^3$$

El sedimentador a diseñarse tendrá un volumen de un 20% más que el volumen de agua a tratar en cada lavado, es decir:

$$V = 8.03 * 1.2 = 9.64 \text{ m}^3$$

Las características del sedimentador se muestran a continuación, los cálculos detallados de este sistema se presentan en el anexo G, en el anexo I se muestran los accesorios del sistema y en el anexo J se muestra las recomendaciones de mantenimiento y limpieza.

Velocidad Crítica de Sedimentación: Según la prueba de sedimentabilidad realizada a una muestra de lodo producido durante el lavado del estanque de mayor capacidad se tiene que la velocidad de sedimentación crítica es de 6,0 cm/min, para una eficiencia de remoción superior al 73% de SST.

Área superficial: 9,56 m²

Número de unidades en serie: uno

Dimensiones:

Zona de sedimentabilidad: Largo 4,9 m; ancho 1,96 m; profundidad 1 m

Zona de Lodo: Volumen total 1,92 m³

Zona de entrada: Tubería PVC sanitaria de 6", pantalla deflectora con orificios de 2" distribuidos en 4 líneas de 6 orificios.

Zona de salida: La salida del sistema será por un desagüe tipo cuello de ganso en PVC sanitaria de 4" ubicado a una profundidad de 1m, con un codo de 90° móvil que permite el desplazamiento del tubo para evacuar el agua clarificada del sedimentador y descargarla sobre el río Quintero. En la tolva de lodos, se ubicará una tubería en PVC sanitaria con una válvula, por donde se desocupa el lodo sedimentado hacia el lecho de secado (figura 25 y 26). Esto se realizará de esta manera, debido a que en la estación piscícola, se lava alrededor de un estanque por día, lo que indica que el Sedimentador funcionará por un periodo de aproximadamente 14 minutos diarios (tiempo de lavado de un solo estanque) en donde el volumen de agua producido, es aproximadamente igual al volumen total del Sedimentador lo que implica que el agua de lavado, puede dejarse sedimentar por un periodo aproximado de dos horas.

El círculo rojo en la fotografía 6 demarca el lugar donde se ubicará el sedimentador con su respectivo lecho de secado



Fotografía 6. Ubicación del sedimentador

En la figura 22 se presenta el esquema del Sedimentador con sus respectivos cortes y detalles.

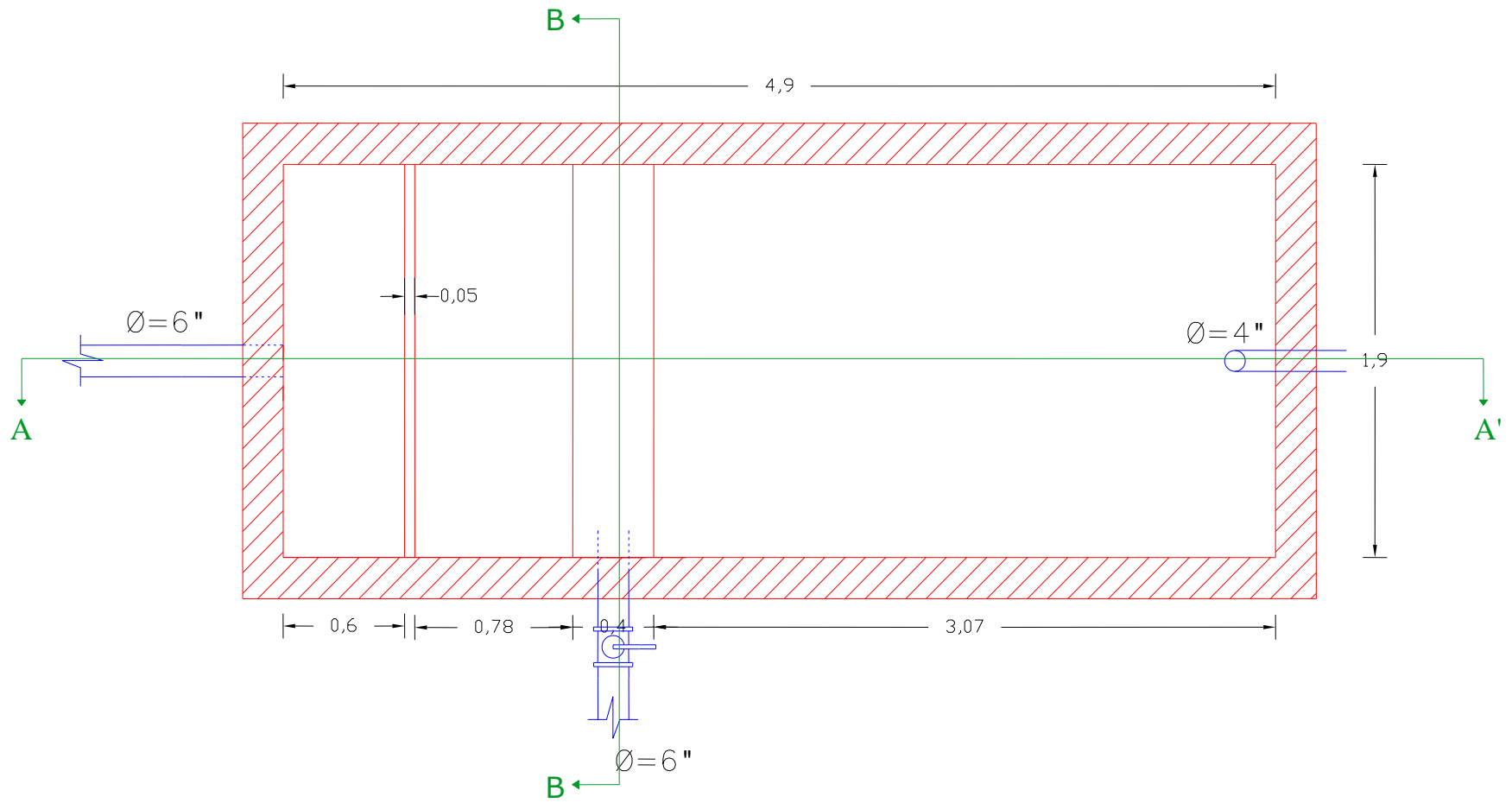


Figura. 22. Planta Sedimentador Primario

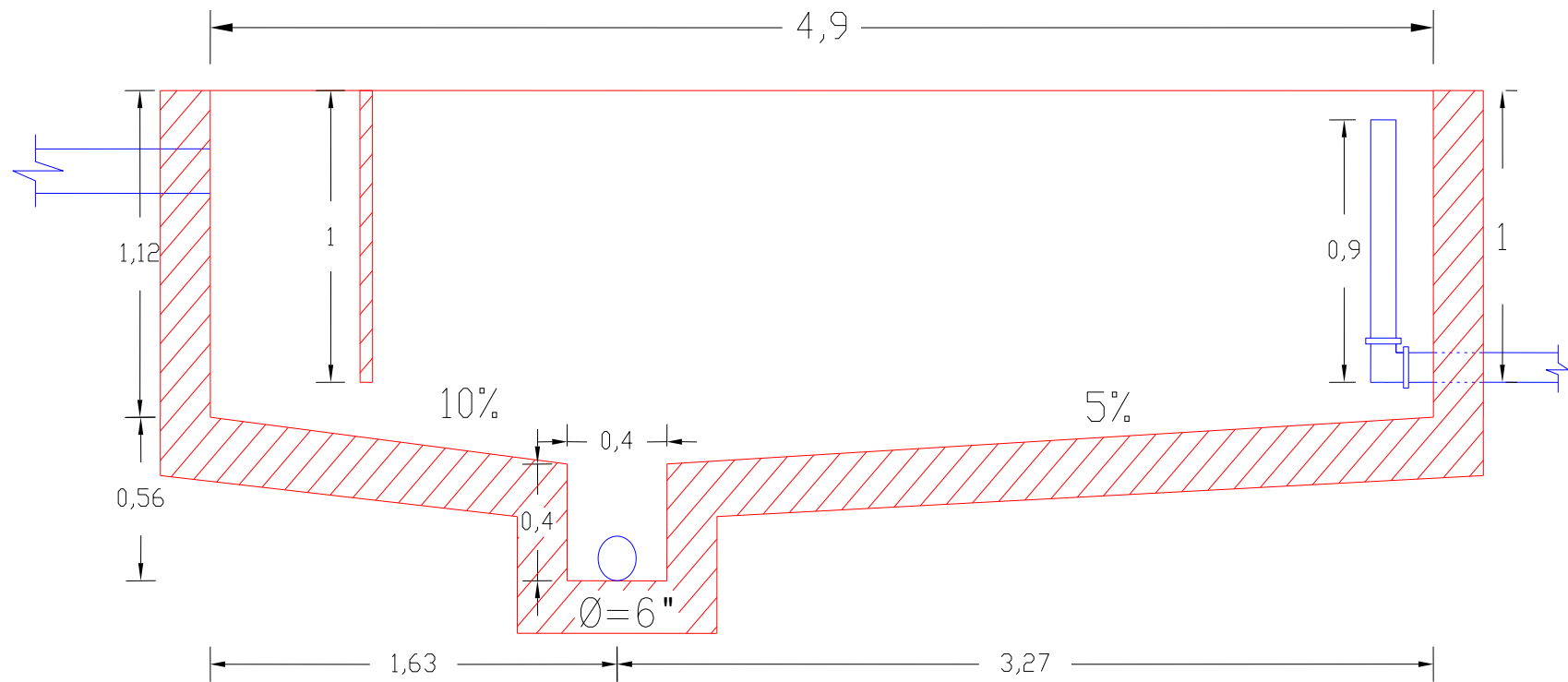


Figura 23. Corte AA. Sedimentador Primario

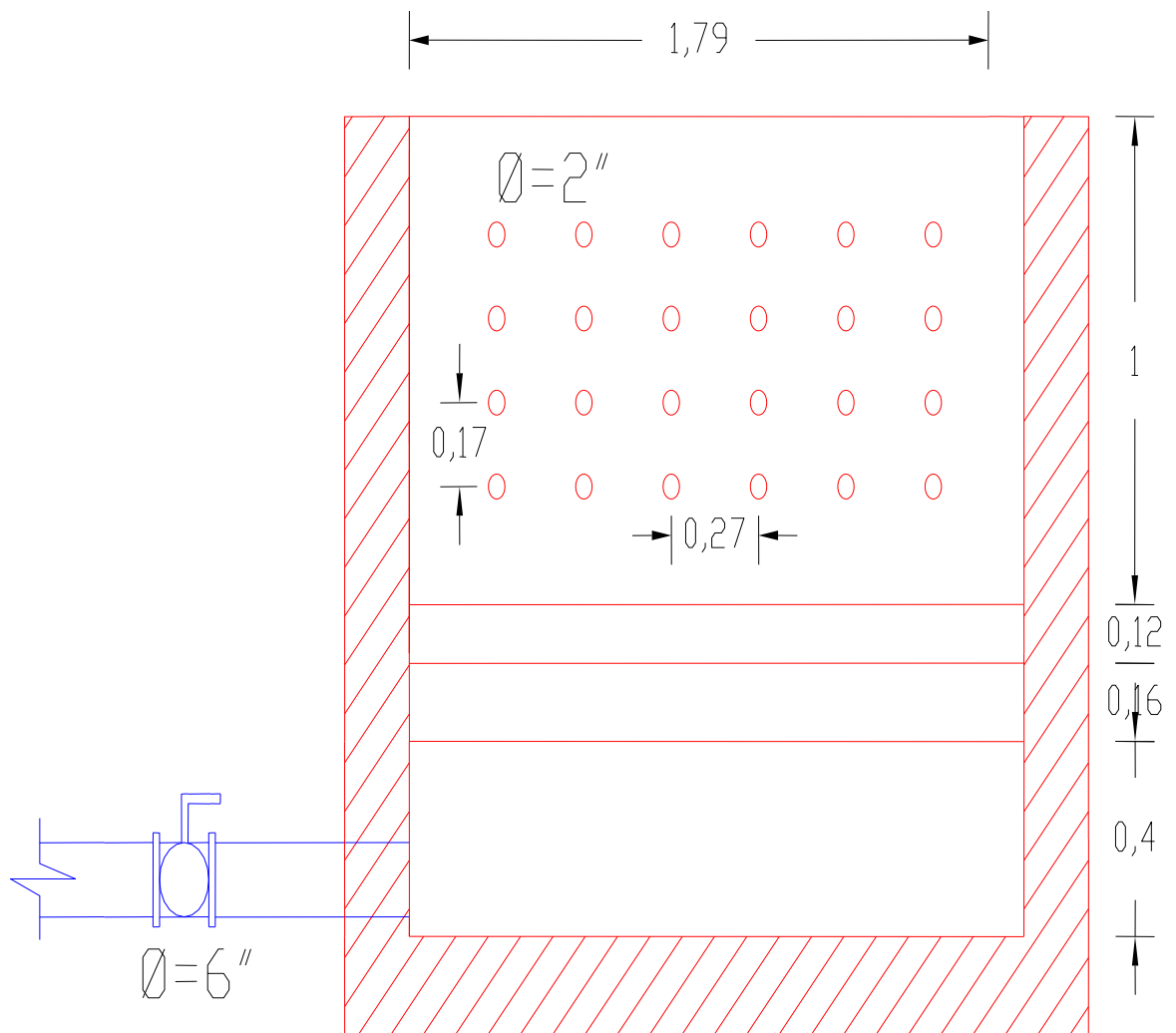


Figura 24. Corte BB. Sedimentador Primario

7.3. LECHO DE SECADO DE LODOS

Teniendo en cuenta que la producción de lodos mensual en la piscícola Quintero es de aproximadamente 101,66 Kg/mes, para su manejo y disposición final se va a utilizar un lecho de secado, el cual será diseñado a partir de la carga superficial recomendada por el RAS (Ver anexo H).

Las dimensiones de lecho de secado son:

Ancho: 3,0 m

Largo: 3,03 m

Borde libre por encima del ladrillo: 0,5 m

En el fondo del lecho se coloca a modo de drenaje, una capa de piedra con tubería perforada para la evacuación del exceso de agua que se encuentra en el lodo. Posteriormente se coloca una capa uniforme de grava entre 20 - 40 cm de espesor. Encima de esta se coloca una capa de arena gruesa limpia de unos 15 a 20 cm, y por último en la parte superior una capa de ladrillos fuertes a junta perdida con una separación de 2,5 cm. El ladrillo evita que periódicamente se deba completar la capa de arena para mantener su espesor original, al ir pegada gran cantidad de ellas en las tortas de barro.

El espesor del barro nunca debe sobrepasar los 30 cm., ya que con buen tiempo y bien digerido, el barro seca en 3 o 4 semanas, teniendo una apariencia agrietada y esponjosa cuando se lo oprime y de fácil manipuleo.

En las figuras 25 y 26 se presentan los esquemas generales de lecho de secado.

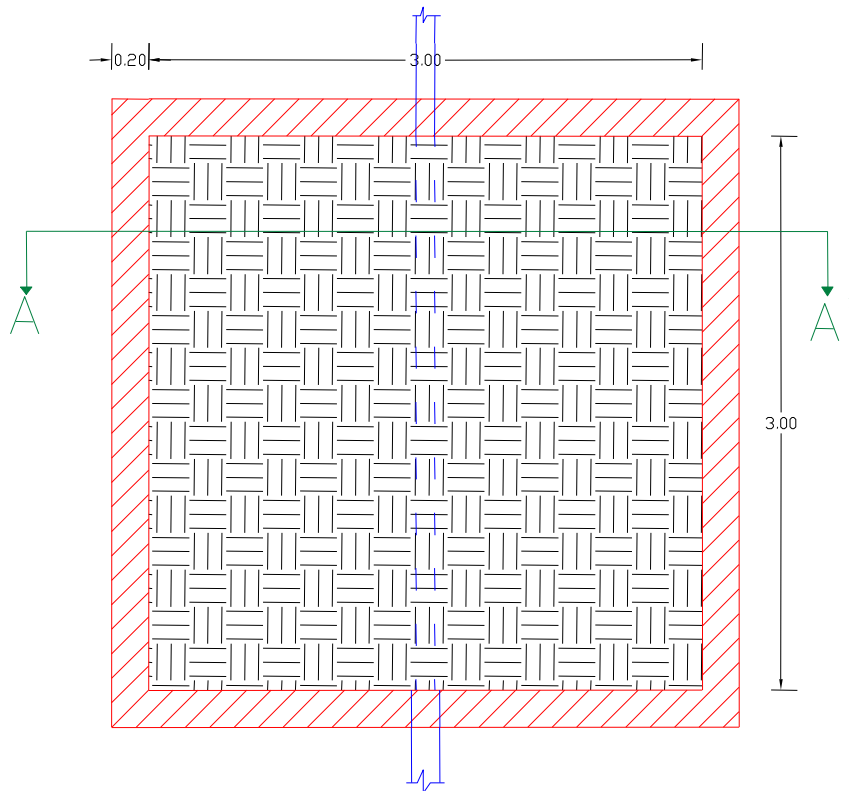


Figura 25. Planta Lecho de Secado de Lodos

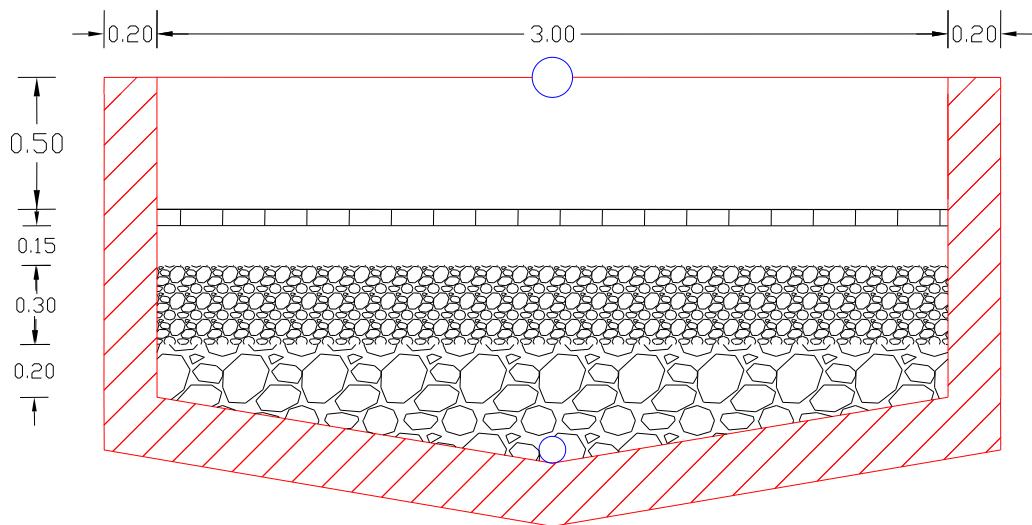


Figura 26. Corte AA' Lecho de Secado de Lodos.

8. CONCLUSIONES

En el Caso de la Piscícola de Quintero, la producción de trucha no genera alteraciones de calidad del agua del efluente principal en términos de DBO, DQO, SST y Turbiedad estando acorde con los niveles de oxígeno disuelto encontrados.

El proceso de producción de trucha en la Piscícola de Quintero produce un efecto positivo en las coliformes disminuyendo su concentración a medida que avanza el proceso productivo.

En el caso de los fosfatos la producción de trucha tiene un efecto negativo sobre este parámetro, pues las concentraciones son mayores en la salida del sistema si se compara con los datos obtenidos en la entrada.

Los niveles de contaminación encontrados en la fuente de abastecimiento, no tienen un efecto negativo sobre las etapas avanzadas del pez (levante y engorde), por tal razón no se requiere tratar todo el volumen de agua que abastece la piscícola, sino aquella que va a ser utilizada en la cría de ovas y para el consumo de sus habitantes, pues es en estos dos casos es donde se requieren mayores condiciones de calidad de agua.

Dado que se presentan variaciones en la presencia de sólidos en el efluente de entrada que pueden afectar la cría de ovas, el tratamiento más adecuado para solucionar este problema es un sistema de filtración en gravas o Filtro de Flujo Ascendente.

El mayor problema de contaminación producido por la piscícola de Quintero se presenta cuando se realizan los lavados puntuales de los estanques, pues se están generando altas concentraciones de cargas orgánicas y sólidos suspendidos.

Los sólidos evacuados provenientes del lavado de estanques, presentan altas características de sedimentabilidad, por tal motivo, procesos de sedimentación serán una buena alternativa para su tratamiento.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que una vez construidos los sistemas de tratamiento, se les haga un seguimiento y control para evaluar sus eficiencias de remoción, si es posible, complementar el tratamiento con un humedal.

Para posteriores estudios de caracterización de efluentes piscícolas, se recomienda tener en cuenta parámetros como nitrógeno total y fósforo total. Además, debe hacerse una evaluación de las cantidades de alimento que realmente deben suministrarse a los peces.

A los piscicultores, se les recomienda modificar los métodos de limpieza de estanques de tal manera que no se demanden grandes cantidades de agua y no se genere stress en los peces.

Se recomienda hacer un estudio hidráulico de los estanques destinados a la producción de trucha, con el fin de mirar la posibilidad de propiciar procesos de remoción dentro de los mismos, ya que se encontró que dentro de ellos se presentan procesos de sedimentación.

Hacer un estudio a los posibles usos que se pueden dar al lodo generado en la producción de trucha.

BIBLIOGRAFIA

ACKEFORS, H., and M. ENELL 1994. The release of nutrients and organic matter from aquaculture systems in Nordic countries. *J. Appl. Ichthyol.* 10 (4): 225–241.

AGUAYO, C. 2003. Incorporación de criterios ambientales en el diseño, construcción y operación de centros de cultivos de especies salmonídeas en la etapa de agua dulce (pisciculturas) para el cumplimiento de la normativa ambiental vigente. Tesis de grado. Universidad Católica de Temuco. 159pp. Chile.

ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Bogotá, 2000. p 364 – 576.

BERGHEIM, A., BRINKER, A. Effluent treatment for flow through systems and European environmental regulations. *Aquacultural Engineering.* 27, p 61–77. 2003.

BOYD. C. E, Water quality in warmwater fish ponds. Auburn univ, (Ala) Agr. Exp. Sta. 359, p. 1979

BOYD, C. E. Effluents from catfish ponds during fish harvest. *J. Environmental. Qual.*, 7. 1978, p. 59-62.

BLANCO, Carmen C. La trucha cría Industrial. Ed. Mundi-prensa. Madrid. 1995.

BRIT, T., WILLIAM J., SHULIN C. Reducing phosphorus discharge from flow-through aquaculture I: facility and effluent characterization. *Aquacultural Engineering* 32. p 129–144. 2004.

CAMERON, DAVIS. Gas exchanges in Rain bow trout with varing blood osygen capacity. Departamento f Zoology University of British Columbia. Vancouver. 1970

CORBITT, R.A. Standard Handbook of Environmental Engineering, McGraw-Hill, New York. 1998.

CORCHO Freddy y DUQUE José I. Acueductos Teoría y Diseño. Centro General de Investigaciones. Universidad de Medellín. Medellín. p 183 – 188.

CHEN, S., M.B. TIMMONS, D.J. ANESHANSLEY, and J.J. F, Jr. 1993. "Suspended solids characteristics from recirculating aquacultural systems and design implications." *Aquaculture* 112:143-155.

CHESNESS, J.L., POOLE, W.H., Hill, T.K. Settling basin design for raceway fish production systems. *Trans. ASAE* 18, 159–162. 1975.

CHIDO LLAURO, Luis M. CULTIVO DE TRUCHAS EN LAGUNA. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Editorial Calipso 1998. Pág. 6-8. En: www.red-arpe.cl/document/lchido.doc

CHO, C.Y., R. HYNES, K.R. WOOD, and H.K. YOSHIDA. 1994. Development of high-nutrient-dense, low-pollution diets and prediction of aquaculture wastes using biological approaches. *Aquaculture* 124(1–4): 293–305.

CLARK, E.R., HARMAN, J.P., FORSTER, J.R.M. Production of metabolic and waste products by intensively farmed rainbow-trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *J. Fish Biol.* 27, 381– 393. 1985.

CRITES, R y TCHOBANOGLOUS, G. Tratamiento de aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. Ed Mc Graw Hill. Año 2000.

CRIPPS, S.J. Minimising outputs: treatment. *J. Appl. Ichthyo.* 10 (4), p 284–294. 1994.

CRIPPS, Simon J. BERGHEIM, Asbjørn. Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. *Aquacultural Engineering* 22 p 33–56. 2000.

CRIPPS, S.J. Serial particle size fractionation and characterisation of an aquacultural effluent. *Aquaculture* 133, 323–339. 1995.

CRIPPS, S.J., KELLY, L. A. Reductions in wastes from aquaculture. In: Baird, D.J., Beveridge, M.C.M., Kelly, L.A., Muir, J.F. (Eds.), *Aquaculture and Water Resource Management*. Blackwell, Oxford, p. 166–201. 1996.

DERROW, R.W., MEHRABI, A., SUMMERFELT, S.T., HANKINS, J.A. Design and testing of a second generation acoustic waste feed monitor. In: Libey, G.S., Timmons, M.B. (Eds.), *Successes and Failures in Commercial Recirculating Aquaculture*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, NY, p. 552–561. 1998.

FERNÁNDEZ, J, GALVIS G. LATORRE J y VISSCHER J. T. 1998. La Filtración en Múltiples Etapas (FiME), una alternativa para el mejoramiento de la calidad del agua. Seminario Taller Abastecimiento de Agua para Consumo Humano y Sostenibilidad. Junio 1 al 12 de 1998. Cali, Colombia.

FORSTER, R.P., GOLDSTEIN, L. Formation of excretory products. In: Hoar, W.S., Randall, J.C. (Eds.), *Fish Physiology*. Academic Press, New York, pp. 313– 350. 1969.

FOY, R.H., ROSELL, R. Fractionation of phosphorus and nitrogen from a Northern Ireland fish farm. *Aquaculture* 96, p 31–42. 1991.

FLORES, H., 1995. Control Ambiental en Maricultura. Contaminación por Alimentación en Cultivo de Peces. Curso de Nutrición y Alimentación de Salmónidos. Universidad Católica de Temuco. Chile.

HILLESTAD, M., F. JOHNSEN. 1994. High-energy/ low protein diets for Atlantic salmon: effects on growth, nutrient retention and slaughter quality. *Aquaculture* 124: 109-116.

IDEAM. El medio Ambiente en Colombia. Segunda Edición. Bogotá. 2001

KELLY, L.A., Particle size distribution of wastes from freshwater fish farms. *Aquacult. Int.* 5, 65–78. 1997.

KUBITZA, F. LOVSHIN, L. L.; ONO, E. A.; SAMPAIO, A. V. Planeamiento en la producción de peces. 3 Ed. F Kubitza, 1999.

MACMILLAN, R., 1992. Economic implications of water quality management for a commercial trout farm. In: Blake, J., Donald, J., Magette, W. (Eds.), National Livestock, Poultry, and Aquaculture Waste Management, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, USA, pp. 185–190.

MARQUEZ R, Adriana M. GUEVARA P. Edilberto. Descripción y evaluación del funcionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales en una industria avícola. Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. Revista ingeniería uc. Vol. 11, no 2, 92-101, 2004.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, 2005. La cadena de la piscicultura en Colombia una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005.

MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales, IDEAM, 2005. Estudio Nacional del Agua.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, 2005. Acuerdo de Competitividad de la Cadena de la Piscicultura en Colombia: en www.agrocadenas.gov.co/piscicultura/documentos/Acuerdo_Piscicultura.pdf Visitado Marzo de 2006

PEREZ, Jorge Arturo. Manual de Potabilización del Agua. Medellín. Universidad Nacional de Colombia Seccional Medellín. p 247 – 254.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y Principios de Diseño. Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000.p 755 – 880.

PETIT, J. FERRON, J. Les problèmes de l'eau en pisciculture. 1975. p 18 – 62.

ROBERTS, R. J. Patología de los Peces. Ed. Mundi-Prensa. 1981. p 63 – 102.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Purificación del Agua. Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000. p 123 - 241.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y Principios de Diseño. Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000. p 755 – 880.

SABAUT, J. Cría de la trucha Arco iris. CIPASA. 1976.

SAWYER, Clair N. Química para Ingeniería Ambiental. Bogotá. Mc Graw Hill 2001. p 645 – 650.

Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 20th, Edic. APHA, AWWA, WEF. 1998.

STICKNEY, R.R. Principles of Aquaculture, Wiley, New York. 1994.

SUMMERFELT, S.T., in press. Waste-handling systems. In: Wheaton, F. (Ed.), Aquacultural Engineering Handbook. American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, MI, p. 99–139.

SWLNGLE, H.S. Relation ships of pH of pond waters to their suitoüility for fish culture, Proc. Pacific, Sci, 1961. congress, 9(1957), vol.10, Fisheries. p, 72-75.

WARRER-HANSEN, I. Pollution from fish farming. A danish solution. Water Quality Institute. 1982.

WHEATON, F.W. 1977. *Aquacultural Engineering*, second printing. Robert E. KriegerPublishing Company. Malabar, Florida.

WESTON, D.P., M.J. PHILLIPS, and L.A. KELLY. 1996. Environmental impacts of salmonid culture, p. 919–967. In W. Pennell and B.A. Barton [eds.]. Principles of

Salmonid Culture. Developments in Aquaculture and Fisheries Science, vol. 29. Amsterdam, Elsevier, 1039 p.

WIENIAWSKI, J. Bilans d'oxigen dans les installations à l'élevage des poissons salmonides. Roczn. Nauk, roln (H). p 83 – 108. 1971

ANEXO A

VALORES DE AFORO DE CAUDAL UN CADA UNA DE LAS FECHAS DE MUESTREO

01-jun-06

Punto de Aforo	Caudal (L/s)			Promedio
	1	2	3	
Bocatoma Principal	62	78	50	63,33
Entrada Sala de Incubación	2,29	2,3	2,29	2,29
Entrada Sección 2	54,00	50,00	52,00	52,00
Salida del Sistema	56,6	50,8	54,6	54,00

07-jul-06

Punto de Aforo	Caudal (L/s)			Promedio
	1	2	3	
Bocatoma Principal	60,64	69,86	81,81	70,77
Entrada Sala de Incubación	2,3	2,34	2,29	2,31
Entrada Sección 2	67,85	62,70	64,45	65,00
Salida del Sistema	66,47	68,9	67,6	67,66

30-ago-06

Punto de Aforo	Caudal (L/s)			Promedio
	1	2	3	
Bocatoma Principal	59,9	80,55	69,56	70,00
Entrada Sala de Incubación	2,45	2,16	2,3	2,30
Entrada Sección 2	68,64	69,82	67,81	68,76
Salida del Sistema	63,3	68,2	67,2	66,23

08-sep-06

Punto de Aforo	Caudal (L/s)			Promedio
	1	2	3	
Bocatoma Principal	68,4	68,15	68,6	68,38
Entrada Sala de Incubación	2,23	2,3	2,29	2,27
Entrada Sección 2	51,81	50,67	50,95	51,14
Salida del Sistema	51,27	52,95	53,4	52,54

13-sep-07

Punto de Aforo	Caudal (L/s)			Promedio
	1	2	3	
Bocatoma Principal	67,9	68,14	69,1	68,38
Entrada Sala de Incubación	2,23	2,32	2,28	2,28
Entrada Sección 2	59,52	41,17	52,90	51,20
Salida del Sistema	49,89	50,98	52,86	51,24

04-oct-06

Punto de Aforo	Caudal (L/s)			Promedio
	1	2	3	
Bocatoma Principal	67,75	69,14	70,12	69,00
Entrada Sala de Incubación	2,25	2,4	2,21	2,29
Entrada Sección 2	65,50	63,87	65,47	64,95
Salida del Sistema	64,8	64,84	63,25	64,30

ANEXO B

VALORES DE LOS DIFERENTES PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

Valores de OD en los diferentes puntos de muestreo (mg/L O₂)

Punto de muestreo	01-Jun	07-Jul	30-Ago	08-Sep	13-Sep	04-Oct
BP	7	7,2	7,4	8,4	8	7,2
AM	6,8	7,7	7,4	8,1	8	6,9
S1	7,3	8,6	7,9	7,6	7,3	7
S2	7,2	8,4	6,9	7,6	6,9	6

BP = Bocatoma Principal, AM = Agua Mezclada, S1 = Salida 1, S2 = Salida 2.

Valores de DBO en los diferentes puntos de muestreo (mg/L O₂)

Punto de muestreo	01-Jun	07-Jul	30-Ago	08-Sep	13-Sep	04-Oct
BP	0,2	0,6	0,2	1	1	0,7
AM	0,4	1,9	0,7	0,8	1,3	1,0
S1	0,7	1,7	1	1,6	0,4	1,1
S2	0,8	1,6	0,5	1,4	0,5	0,9

BP = Bocatoma Principal, AM = Agua Mezclada, S1 = Salida 1, S2 = Salida 2.

Valores de DQO en los diferentes puntos de muestreo (mg/L O₂)

Punto de muestreo	01-Jun	07-Jul	30-Ago	08-Sep	13-Sep	04-Oct
BP	5,12	5,123	1,312	4,805	9,887	5,326
AM	4,5	5,440	8,616	2,582	11,792	6,87
S1	2,9	5,123	9,887	6,076	3,535	5,698
S2	2,8	1,947	7,520	5,44	6,076	4,763

BP = Bocatoma Principal, AM = Agua Mezclada, S1 = Salida 1, S2 = Salida 2

Valores de sólidos suspendidos en los diferentes puntos de muestreo (mg/L)

Punto de muestreo	01-jun	07-jul	30-ago	08-sep	13-sep	04-oct
BP	1	2	0,95	5	2,98	2,36
AM	1,8	7	2,38	2	1,48	2,70
S1	1,2	7	3,33	7,5	4,23	4,19

S2	1,4	7	3,81	6	3,40	3,96
----	-----	---	------	---	------	------

BP = Bocatoma Principal, AM = Agua Mezclada, S1 = Salida 1, S2 = Salida 2

Valores de Turbiedad en los diferentes puntos de muestreo (UNT)

Punto de muestreo	01-Jun	07-Jul	30-Ago	08-Sep	13-Sep	04-Oct
BP	1,49	0,53	1,68	7,27	7,27	3,66
AM	1,37	1,80	2,1	5,2	5,2	3,13
S1	1,57	1,76	1,91	5,8	5,8	3,36
S2	1,7	1,60	2,24	5,39	5,39	3,47

BP = Bocatoma Principal, AM = Agua Mezclada, S1 = Salida 1, S2 = Salida 2

Valores de Color en los diferentes puntos de muestreo (PtCo).

Punto de muestreo	01-Jun	07-Jul	30-Ago	08-Sep	13-Sep	04-Oct
BP	42	62	34	36	35	41
AM	44	55	33	31	36	38
S1	44	63	33	29	24	37
S2	43	67	36	34	26	42

BP = Bocatoma Principal, AM = Agua Mezclada, S1 = Salida 1, S2 = Salida 2

Valores de Nitratos en los diferentes puntos de muestreo (mg/L N-NO₃)

Punto de muestreo	01-Jun	07-Jul	30-Ago	08-Sep	13-Sep	04-Oct
BP	0,214	0,429	0,492	0,17	0,258	0,360
AM	0,107	0,511	0,498	0,198	0,189	0,325
S1	0,107	0,233	0,239	0,05	0,372	0,226
S2	0,123	0,325	0,239	0,224	0,299	0,299

BP = Bocatoma Principal, AM = Agua Mezclada, S1 = Salida 1, S2 = Salida 2

Valores de Fosfatos en los diferentes puntos de muestreo (mg/L PO₄)

Punto de muestreo	01-Jun	07-Jul	30-Ago	08-Sep	13-Sep	04-Oct
BP	0,024	0,018	0,027	0,02	0,019	0,023
AM	0,019	0,021	0,015	0,018	0,019	0,019
S1	0,028	0,027	0,022	0,019	0,023	0,023
S2	0,034	0,025	0,019	0,025	0,028	0,025

BP = Bocatoma Principal, AM = Agua Mezclada, S1 = Salida 1, S2 = Salida 2

Valores de Coliformes en los diferentes puntos de muestreo (UFC/100mL)

Punto de muestreo	01-Jun	07-Jul	30-Ago	08-Sep	13-Sep	04-Oct
BP	143	132	138	115	97	124
AM	90	85	88	55	25	65
S1	24	35	30	49	62	40
S2	24	42	33	47	52	35

BP = Bocatoma Principal, AM = Agua Mezclada, S1 = Salida 1, S2 = Salida 2

Valores de pH en los diferentes puntos de muestreo

Punto de muestreo	01-Jun	07-Jul	30-Ago	08-Sep	13-Sep	04-Oct
BP	6,75	6,8	8,1	6,7	7,93	7,30
AM	7,35	6,9	7,05	7,6	8,24	7,45
S1	6,95	7,1	6,8	7,1	8,3	7,60
S2	7	7	7,34	7,1	8,01	7,30

BP = Bocatoma Principal, AM = Agua Mezclada, S1 = Salida 1, S2 = Salida 2

ANEXO C

ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA CADA PARÁMETRO MEDIDOS CON UNA CONFIABILIDAD DE 95 %.

ANALISIS DBO				
	Grados Libertad	SC	CM	FC
Tratamientos	3	0,77	0,26	1,18
Error Exp	20	4,36	0,22	
Total	23	5,13		
Fcorrec	20,24			

Con un alfa = 0.05 y 3 y 20 grados de libertad

$$FC(3,20,0.05) = 3.10 > 1.18$$

No hay diferencias significativas

$$CV = 0,51$$

$$\text{Promedio} = 0,92$$

ANALISIS OXIGENO DISUELTO				
	Grados Libertad	SC	CM	FC
Tratamientos	3	0,70	0,23	0,59
Error Exp	20	7,84	0,39	
Total	23	8,54		
Fcorrec	1332,06			

Con un alfa = 0.05 y 3 y 20 grados de libertad

$$FC(3,20,0.05) = 3.10 > 0.59$$

No hay diferencias significativas

$$CV = 0,084$$

$$\text{Promedio} = 7,45$$

ANALISIS DQO				
	Grados Libertad	SC	CM	FC
Tratamientos	3	11,31	3,77	0,53
Error Exp	20	142,17	7,11	
Total	23	153,48		
Fcorrec	738,57			

Con un alfa = 0.05 y 3 y 20 grados de libertad

$$FC(3,20,0.05) = 3.10 > 0.530$$

No hay diferencias significativas

$$CV = 0,49$$

$$\text{Promedio} = 5,55$$

ANALISIS SST				
	Grados libertad	SC	CM	FC
Tratamientos	3	20,11	6,70	1,68
Error Exp	20	79,86	3,99	
Total	23	99,96		
Fcorrec	298,69			

Con un alfa = 0.05 y 3 y 20 grados de libertad

$$FC(3,20,0.05) = 3.10 > 1.68$$

No hay diferencias significativas

$$CV = 0,57$$

$$\text{Promedio} = 3,53$$

ANALISIS TURBIEDAD				
	Grados libertad	SC	CM	FC
Tratamientos	3	0,83	0,28	0,06
Error Exp	20	94,10	4,70	
Total	23	94,93		
Fcorrec	271,21			

Con un alfa = 0.05 y 3 y 20 grados de libertad

$$FC(3,20,0.05) = 3.10 > 0.059$$

no hay diferencias significativas

$$CV = 0,65$$

$$\text{Promedio} = 3,36$$

ANALISIS COLOR				
	Grados libertad	SC	CM	FC
Tratamientos	3	44,46	14,82	0,10
Error Exp	20	2881,50	144,08	
Total	23	2925,96		
Fcorrec	38801,04			

Con un alfa = 0.05 y 3 y 20 grados de libertad

$$FC(3,20,0.05) = 3.10 > 0.103$$

No hay diferencias significativas

CV = 0,30
 Promedio = 40,21

ANALISIS FOSFATOS				
	Grados libertad	SC	CM	FC
Tratamientos	3	0,00018033	6,0111E-05	4,74
Error Exp	20	0,00025367	1,2683E-05	
Total	23	0,000434		
Fcorrec	0,012			

Con un alfa = 0.05 y 3 y 20 grados de libertad
 $FC(3,20,0.05) = 3.10 < 4.74$
 Cae el región de rechazo, luego hay diferencias significativas
 CV = 0,158
 Promedio = 0,023

ANALISIS NITRATOS				
	Grados Libertad	SC	CM	FC
Tratamientos	3	0,050	0,017	1,062
Error Exp	20	0,316	0,016	
Total	23	0,366		
Fcorrec	1,753			

Con un alfa = 0.05 y 3 y 20 grados de libertad
 $FC(3,20,0.05) = 3.10 > 1.06$
 No hay diferencias significativas
 CV = 0,465
 Promedio = 0,270

ANALISIS pH				
	Grados libertad	SC	CM	FC
Tratamientos	3	0,10	0,03	0,12
Error Exp	20	5,33	0,27	
Total	23	5,43		
Fcorrec	1287,30			

Con un alfa = 0.05 y 3 y 20 grados de libertad
 $FC(3,20,0.05) = 3.10 > 0,12$
 No hay diferencias significativas
 CV = 0,07
 Promedio = 7,32

ANALISIS COLIFORMES				
	Grados libertad	SC	CM	FC
Tratamientos	3	29188,17	9729,39	31,94
Error Exp	20	6091,67	304,58	
Total	23	35279,83		
Fcorrec	110704,17			

Con un alfa = 0.05 y 3 y 20 grados de libertad

$FC(3,20,0.05) = 3.10 < 31.94$

Cae el región de rechazo luego hay diferencias significativas

CV = 0,257

Promedio = 67,917

ANEXO D

METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

PARAMETRO	EQUIPO	METODO*
Turbiedad	Turbidímetro modelo HACH 2100P	2130B
Color Real	Filtrando la muestra con una bomba de succión Gast modelo DOA-P104-AA. Midiendo absorbancia en un espectrofotómetro HACH DR 2010 en el programa 120 a 455 nm.	2120C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	Lectura de oxígeno disuelto en el día cero e incubando la muestra en winklers por 5 días.	5210B
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Calentando la muestra en un reactor marca HACH por un periodo de tiempo de 2 horas y midiendo absorbancia en un espectrofotómetro HACH DR 2010 en el programa cero a 420 nm y ajustando el resultado a la curva de calibración realizada para este parámetro.	5220B
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Filtrando la muestra con una bomba de succión Gast modelo DOA-P104-AA. Pesando los filtros en una balanza analítica.	2540D
Nitratos	Leer la muestra en el espectrofotómetro HACH DR 2010 en el programa cero a 410 nm.	4500-NO ₃ -B
Fosfatos	Leer la muestra en el espectrofotómetro HACH DR 2010 en el programa cero a 690 nm.	4500-PG
pH	Medición directamente en el agua con un pH HANDY LAB.	4500-H+B
Coliformes Fecales	Filtración por membrana usando como medio M Endo Agar Les. Con un periodo de incubación de 24 horas a una temperatura de 44 °C.	9222D

*Numeral en el Standard Methods.

ANEXO E

CRITERIOS DE SELECCIÓN BOCATOMA PARA AGUA POTABLE SEGÚN EL RAS

Parámetros	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de polución			
	Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
DBO 5 días	3630					
Promedio mensual mg/L			≤ 1.5	1.5 - 2.5	2.5 - 4	>4
Máximo diario mg/L			1 - 3	3 - 4	4 - 6	>6
Coliformes totales (NMP/100 mL)						
Promedio mensual		D-3870	0 - 50	50 - 500	500 - 5000	> 5000
Oxígeno disuelto mg/L	4705	D-888	≥ 4	≥ 4	≥ 4	< 4
PH promedio	3651	D 1293	6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5	
Turbiedad (UNT)	4707	D 1889	< 2	2 - 40	40 - 150	≥ 150
Color verdadero (UPC)			< 10	10 -20	20 - 40	≥ 40
Gusto y olor		D 1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L - Cl)		D 512	< 50	50 - 150	150 - 200	300
Fluoruros (mg/L - F)		D 1179	< 1.2	< 1.2	< 1.2	> 1.7

Fuente: RAS

ANEXO F

DISEÑO HIDRÁULICO FILTRO GRUESO ASCENDENTE

- Calculo de caudal

Demanda de agua en la piscícola

$$Q_T = Q_{\text{residencial}} + Q_{\text{Sala incubación}}$$

Población servida = 35 Personas, considerando que la piscícola también será utilizadas como lugar de recreación para pesca deportiva y venta de alimentos.

Dotación Neta = 120 L/hab*día

% Perdidas = 10%

$$Dotación\ bruta = \frac{Dotación\ Neta}{1 - \%P} = \frac{120 \frac{L}{hab\ día}}{1 - 0,1} = 133 \frac{L}{hab\ día}$$

Caudal Residencial:

$$Q_{Residencial} = \frac{Población * Demanda\ bruta}{86400} = \frac{35 * 133}{86400} = 0,054\ L/s$$

Factor para determinación de Caudal máximo diario residencial (Q_{MDR}) = 1,5

$$Q_{MDR} = 1,5 * 0,054 = 0,081 \frac{L}{s}$$

Caudal de la sala de Incubación

Según MacMillan (1992) se necesitan 0,5 L/min para una producción de 1000 ovas.

Para 50000 ovas se tiene:

$$Q_{Sala\ incubación} = \frac{0,5 * 50000}{1000} = 25 \frac{L}{min} * \frac{1min}{60s} = 0,42 \frac{L}{s}$$

El caudal de la sala de incubación se multiplica por un factor de seguridad de 2,5

$$Q_{\text{Sala incubación}} = 2,5 * 0,42 \frac{L}{s} = 1,05 \frac{L}{s}$$

Por tanto el caudal de diseño es

$$Q_{\text{Diseño}} = 0,081 \frac{L}{s} + 1,05 \frac{L}{s} = 1,13 \frac{L}{s}$$

$$Q_{\text{Diseño}} = 1,13 \text{ L/s}$$

$$V_f = 6 \text{ m/h}$$

- Área de Filtración

$$Q = A * V$$

$$A = Q/V$$

$$A = \frac{1,13 * 3,6}{0,6} = 6,78 \text{ m}^2$$

Numero de unidades 1.

- Dimensiones

$$a = \left(\frac{2A}{n + 1} \right)^{0,5}$$

$$b = \left(\frac{(n + 1) * a}{2n} \right)$$

a = Lado largo

b = Lado corto

A = Área total

n = número de unidades

$$a = \left(\frac{2 * 6,78}{2} \right)^{0,5} = 2,6 \text{ m}$$

$$b = \frac{2 * 2,6}{2 * 1} = 2,6 \text{ m}$$

- Profundidad

Lecho Filtrante = 1 m

Nivel del agua sobre el Lecho = 0,20 m

Borde Libre = 0,10 m

Profundidad Total = 1,30 m

- Sistema de Drenaje

Caudal de lavado (Q_{Lav})

Velocidad de lavado = 15 m /h

$$Q_{Lav} = 15 \text{ m/h} * 6,78 \text{ m}^3 = 101,7 \text{ m}^3/\text{h} = 28,25 \text{ L/s} = Q_{Ppal}$$

Velocidad de salida (V_{sal}):

$$V_{sal} = \frac{Q_{Ppal}}{A_{Ppal}} = \frac{28,25 \text{ E} - 3 \text{ m}^3/\text{s}}{0,018 \text{ m}^2} = 1,54 \text{ m/s}$$

$$D_{Ppal} = 6''$$

$$A_{Ppal} = 0,018 \text{ m}^2$$

$$D_L = 3''$$

$$A_L = 4,56 \text{ E} - 3 \text{ m}^2$$

Separación entre laterales de 0,5 m a 1 m, asumo 0,65 m

$$\text{Número de laterales} = 2,6 / 0,65 = 4$$

Número de Orificios por lateral (n)

$$n = \frac{c D_L^2}{D_O^2}$$

$$D_O = 0,5''$$

$$A_o = 1,27 \text{ E} - 4 \text{ m}^2$$

$$C = 0,5 - 0,75; \text{ asumo } 0,6$$

$$n = \frac{0,6 * 3^2}{0,5^2} = 21,6 \cong 22 \text{ orificios}$$

Distribución de orificios

Longitud del Lateral = 2,25 m

Separación entre orificios = $2,25 / (22/2) = 0,20 \text{ m}$

$V_{\text{Ppal tramo 1}} = (7,06\text{E-}3 \text{ m}^3/\text{s})/0,018 \text{ m}^2 = 0,39 \text{ m/s}$

Caudal en el lateral (Q_L)

$Q_L = (28,25 \text{ L/s})/4 = 7,06 \text{ L/s} = 7,06\text{E-}3 \text{ m}^3/\text{s}$

$V_L = (7,06\text{E-}3 \text{ m}^3/\text{s}) / 4,56\text{E-}3 \text{ m}^2 = 1,55 \text{ m/s}$

Caudal por Orificios (Q_O)

$Q_O = (7,06 \text{ L/s})/22 = 0,32 \text{ L/s}$

- Cámara de llegada

Si $Q = V/t$

Asumiendo $t = 60 \text{ s}$

$$V = (1,13 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}) * 60 \text{ s} = 0,068 \text{ m}^3$$

Asumiendo un cámara cuadrada de $0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$

Profundidad = $(0,068 \text{ m}^3)/(0,5 * 0,5) \text{ m}^2 = 0,27 \text{ m}$; muy pequeño, asumo $0,5 \text{ m}$

- Chequeo Sistema de Drenaje:

Se debe verifica que las perdidas de carga, sean igual a la carga disponible en el sistema.

Pérdidas de Carga:

- Perdida por Lecho filtrante $h_1 = 0, 20 \text{ m}$

- Perdida por Orificio (h_2):

$$C = 0,61$$

$$h_2 = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q_O}{CA_O} \right)^2 = \frac{1}{2 * 9,8} \left(\frac{3,2 \text{ E} - 4}{0,61 * 1,27\text{E} - 4} \right)^2 = 0,88 \text{ m}$$

- Perdida por Lateral (h_3):

$$C = 140$$

$$h_3 = 10,648 * Q_L^{1,85} * C^{-1,85} * D_L^{-4,87} * L/3$$

$$h_3 = 10,648 * 7,06E - 3^{1,85} * 140^{-1,85} * 0,0762^{-4,87} * \frac{2,25}{3}$$

$$h_3 = 0,025 \text{ m}$$

- Perdida por Buje 6x4 (h_4):

$$\Delta V = (\text{Vel Lat} - \text{Vel Ppal tramo 1}) = 1,55 - 0,39 = 1,16 \text{ m/s}$$

$$h_4 = 0,4 * \frac{\Delta V^2}{2g} = 0,4 * \frac{(1,16 \text{ m/s})^2}{2 * 9,8} = 0,027 \text{ m}$$

- Perdida codo 90° - 6 (h_5):

$$h_5 = 0,9 * \frac{V_{Ppal \text{ tramo 1}}^2}{2g} = 0,9 * \frac{(0,39 \text{ m/s})^2}{2 * 9,8} = 0,007 \text{ m}$$

- Perdidas por 4 Tee 6x6 (h_6):

Tee 1:

$$h_{6,1} = 0,6 * \frac{V_{Ppal \text{ tramo 1}}^2}{2g} = 0,6 * \frac{(0,39 \text{ m/s})^2}{2 * 9,8} = 0,005 \text{ m}$$

Tee 2:

$$h_{6,2} = 0,6 * \frac{(2 * V_{Ppal \text{ tramo 1}})^2}{2g} = 0,6 * \frac{(2 * 0,39 \text{ m/s})^2}{2 * 9,8} = 0,018 \text{ m}$$

Tee 3:

$$h_{6,3} = 0,6 * \frac{(3 * V_{Ppal \text{ tramo 1}})^2}{2g} = 0,6 * \frac{(3 * 0,39 \text{ m/s})^2}{2 * 9,8} = 0,041 \text{ m}$$

Tee 4

$$h_{6,4} = 0,6 * \frac{(4 * V_{ppal \ tramo \ 1})^2}{2g} = 0,6 * \frac{(4 * 0,39 \ m/s)^2}{2 * 9,8} = 0,074 \ m$$

Total de pérdidas por Tee:

$$h_6 = h_{6,1} + h_{6,2} + h_{6,3} + h_{6,4}$$

$$h_6 = 0,005 + 0,018 + 0,041 + 0,074 = 0,138 \ m$$

- Pérdida por fricción en el Principal (h_7):

$$C = 140$$

$$h_7 = 10,648 * Q_p^{1,85} * C^{-1,85} * D_p^{-4,87} * L/3$$

$$h_7 = 10,648 * (28,25E - 3 \ m^3/s)^{1,85} * 140^{-1,85} * (0,1524 \ m)^{-4,87} * 2,6/3$$

$$h_7 = 0,013$$

- Pérdida por cambio de dirección (h_8):

$$h_8 = 0,9 * \frac{V_{sal}^2}{2g} = 0,9 * \frac{(1,54 \ m/s)^2}{2 * 9,8} = 0,11 \ m$$

- Pérdida por Válvula Mariposa (h_9):

$$h_9 = 0,5 * \frac{V_{sal}^2}{2g} = 0,5 * \frac{(1,54 \ m/s)^2}{2 * 9,8} = 0,061 \ m$$

- Pérdida en el último tramo (h_{10}):

$$h_{10} = 10,648 * Q_p^{1,85} * C^{-1,85} * D_p^{-4,87} * L$$

$$h_{10} = 10,648 * (28,25E - 3 \ m^3/s)^{1,85} * 140^{-1,85} * (0,1524 \ m)^{-4,87} * 0,95$$

$$h_{10} = 0,014$$

- Pérdida por Salida (h_{11}):

$$h_{11} = 1 * \frac{V_{sal}^2}{2g} = 1 * \frac{(1,54 \text{ m/s})^2}{2 * 9,8} = 0,121$$

Total pérdidas de Carga (h_T):

$$h_T = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8 + h_9 + h_{10} + h_{11}$$

$$h_T = 0,20 + 0,88 + 0,025 + 0,027 + 0,007 + 0,138 + 0,013 + 0,11 + 0,061 + 0,014 + 0,0121$$

$$h_T = 1,60 \text{ m}$$

Pérdida de carga disponible $h_D = 1,60 \text{ m}$

$$h_D = h_T$$

Como la pérdida de carga es igual a la carga disponible, el sistema de drenaje del filtro no presentará problemas hidráulicos, y trabajará con una tasa de lavado de 15 m/h.

ANEXO G

DISEÑO HIDRÁULICO SEDIMENTADOR PRIMARIO

$$Q = 9.56 \text{ L/s} = 825.98 \text{ m}^3/\text{día}$$

Número de estanques lavados por día = 1

Tiempo de lavado por día = 14 minutos

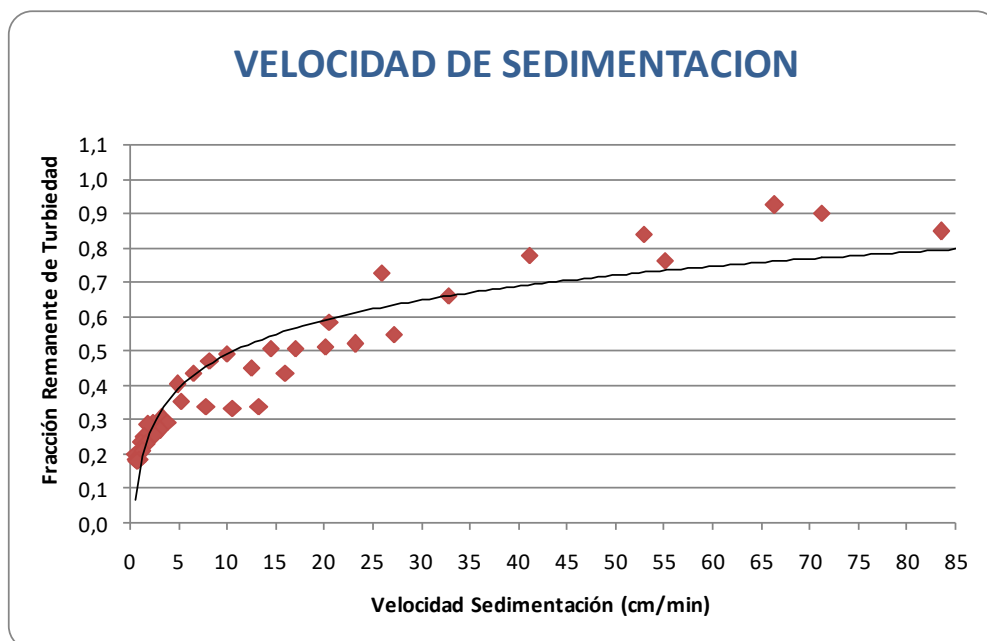
Volumen de agua a tratar por lavado

$$V = \frac{9.56 \text{ L}}{\text{s}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} * 14 \text{ min} = 8.03 \text{ m}^3$$

El sedimentador a diseñarse tendrá un volumen de un 20% más que el volumen de agua a tratar en cada lavado, es decir:

$$V = 8.03 * 1.2 = 9.64 \text{ m}^3$$

La prueba de sedimentabilidad realizada a una muestra de lodo producido en el lavado de un estanque, presenta la siguiente curva de sedimentabilidad, en donde se pudo obtener la velocidad de sedimentación crítica para diferentes eficiencias de remoción de SST.



Los porcentajes de remoción y Velocidades Críticas de Sedimentación se muestran a continuación.

Vsc (cm/min)	RT
10.0	0.65
8.0	0.68
6.0	0.73
5.0	0.76
3.5	0.80
2.0	0.87
1.5	0.90
1.0	0.93

De acuerdo a la tabla anterior se tiene que para una remoción del 73% de SST la velocidad de sedimentación crítica es de 6,0 cm/min

Remoción = 73 %

$$V_{sc} = 6,0 \text{ cm/min} = 86,4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$$

- Área Superficial (A_s)

$$A_s = Q/V_{sc} = 825.98/86,4 = 9,56 \text{ m}^2$$

- Relación Largo/Ancho = 2,5/1

$$\text{Ancho} * 2,5 \text{ Ancho} = 9,56 \text{ m}^2$$

$$\text{Ancho} = \sqrt{\frac{9,56}{2,5}} = 1,96 \text{ m}$$

$$\text{Largo} = 2,5 * \text{Ancho} = 2,5 * 1,96 = 4,9 \text{ m}$$

- Profundidad útil (H)

$$H = \frac{V}{A_s} = \frac{9,64}{1,96 * 4,9} = 1 \text{ m}$$

- Velocidad Horizontal (V_H)

$$V_H = \frac{Q}{B * H} * 100 = \frac{9,56 \times 10^{-3}}{1,96 * 1} * 100 = 0,49 \frac{cm}{s}$$

- Velocidad de Arrastre (V_A)

$$V_A = \left(\frac{8K(Gs - 1) * g * d}{f} \right)^{1/2}$$

$$V_A = \left(\frac{8 * 0,06 * (1,05 - 1) * 980 * 2 \times 10^{-3}}{0,03} \right)^{1/2} = 1,25 \frac{cm}{s}$$

$$V_H < V_A$$

$$0,49 \frac{cm}{s} < 1,25 \frac{cm}{s}$$

- Caudal de Lodos (Q_L)

SST = 422 mg/L

C1 = 5%

Remoción = 65 %

$$Q_L = \frac{K * C * Q}{10000 * C1 * \rho} = \frac{0,73 * 422 \text{ mg/L} * 34,42 \text{ m}^3/\text{h}}{10000 * 5 * 1,05 \text{ g/cm}^3} = 0,20 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Volumen de Sedimentación (V_{sd})

$V_{sd} = \text{Ancho} * \text{Largo} * H$

$$V_{sd} = 1,96 \text{ m} * 4,9 \text{ m} * 1 \text{ m} = 9,60 \text{ m}^3$$

- Volumen Tolva de Lodos (V_{TL})

El volumen de la tolva de lodos es el 20% del volumen de sedimentación

$$V_{TL} = 0,20 * 9,60 = 1,92 \text{ m}^3$$

- Volumen Real Tolva de Lodos (V_{rTL})

Profundidad de la tolva de lodos = 0,16 m con una pendiente del 10%

$$V_{RT} = \frac{4,9 * 0,16}{2} * 1,96 = 0,77 \text{ m}^3$$

El volumen real es menor que el volumen requerido, hay que agregar una altura adicional h^* .

$$h^* = \frac{1,92 - 0,77}{4,9 * 1,96} = 0,12 \text{ m}$$

- Periodo de Limpieza (PL)

$$P_L = \frac{V_{TL}}{Q_L} = \frac{1,92 \text{ m}^3}{0,20 \text{ m}^3/h} = 9,6 \text{ h}$$

- Entrada del sistema

Tubería de 6"

- Pantalla Deflectora

Orificios con diámetro de 2" $\approx 5,08 \text{ cm}$

Velocidad en los Orificios $V_o = 0,2 \text{ m/s}$

Área Orificio (A_o)

$$A_o = \frac{5,08^2 * \pi}{4} = 20,3 \text{ cm}^2 = 2,03 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

Caudal por Orificio (q_o)

$$q_o = 0,2 * 2,03 * 10^{-3} = 4,06 * 10^{-4} \text{ m}^3/s$$

Numero de orificios (N_o)

$$N_o = \frac{Q}{q_o} = \frac{9,56 * 10^{-3}}{4,06 * 10^{-4}} = 23,55 \approx 24 \text{ orificios}$$

- Salida del Sistema

La salida del sistema será por un desagüe tipo cuello de ganso en PVC sanitaria de 4" ubicado a una profundidad de 1m, el cual puede desplazarse para evacuar el agua clarificada del sedimentador y descargarla sobre el río Quintero. En la tolva de lodos, se ubicará una tubería en PVC sanitaria con una válvula, por donde se desocupa el lodo sedimentado hacia el lecho de secado (figura 25 y 26). Esto se

realizará de esta manera, debido a que en la estación piscícola, se lava alrededor de un estanque por día, lo que indica que el Sedimentador funcionará por un periodo de aproximadamente 14 minutos diarios (tiempo de lavado de un solo estanque) en donde el volumen de agua producido, es aproximadamente igual al volumen total del Sedimentador lo que implica que el agua de lavado, puede dejarse sedimentar por periodos de tiempo que permitan obtener remociones superiores a la utilizada para el diseño:

Teniendo que:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde t ; es el tiempo que dura el agua de lavado dentro del sedimentador y V es el volumen de agua producido en el lavado.

Si suponemos un $t = 2$ horas tenemos

$$Q = \frac{8,03}{2} = 4,02 \frac{m^3}{h}$$

Por tanto:

$$V_{sc} = \frac{Q}{As} = \frac{4,02}{9,56} = 0,42 \frac{m}{h} = 0,70 \frac{cm}{min}$$

Este valor de V_{sc} muestra según la tabla de remoción obtenida a partir de la curva de sedimentabilidad, que con un tiempo de retención de 2 horas se pueden obtener remociones superiores al 90% de SST.

ANEXO H

DIMENSIONAMIENTO LECHO DE SECADO DE LODOS

Carga Total de sólidos (C_{TS}) generada en la piscícola = 101,66 Kg/mes = 1219,9 Kg/año

Según el RAS la carga superficial (C_s) de lodo generada por año es

$$C_s = 134 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2$$

Área superficial (A_s):

$$A_s = \frac{C_{TS}}{C_s} = \frac{1219,9}{134} = 9,1 \text{ m}^2$$

Asumiendo un ancho de 3 m; se tiene

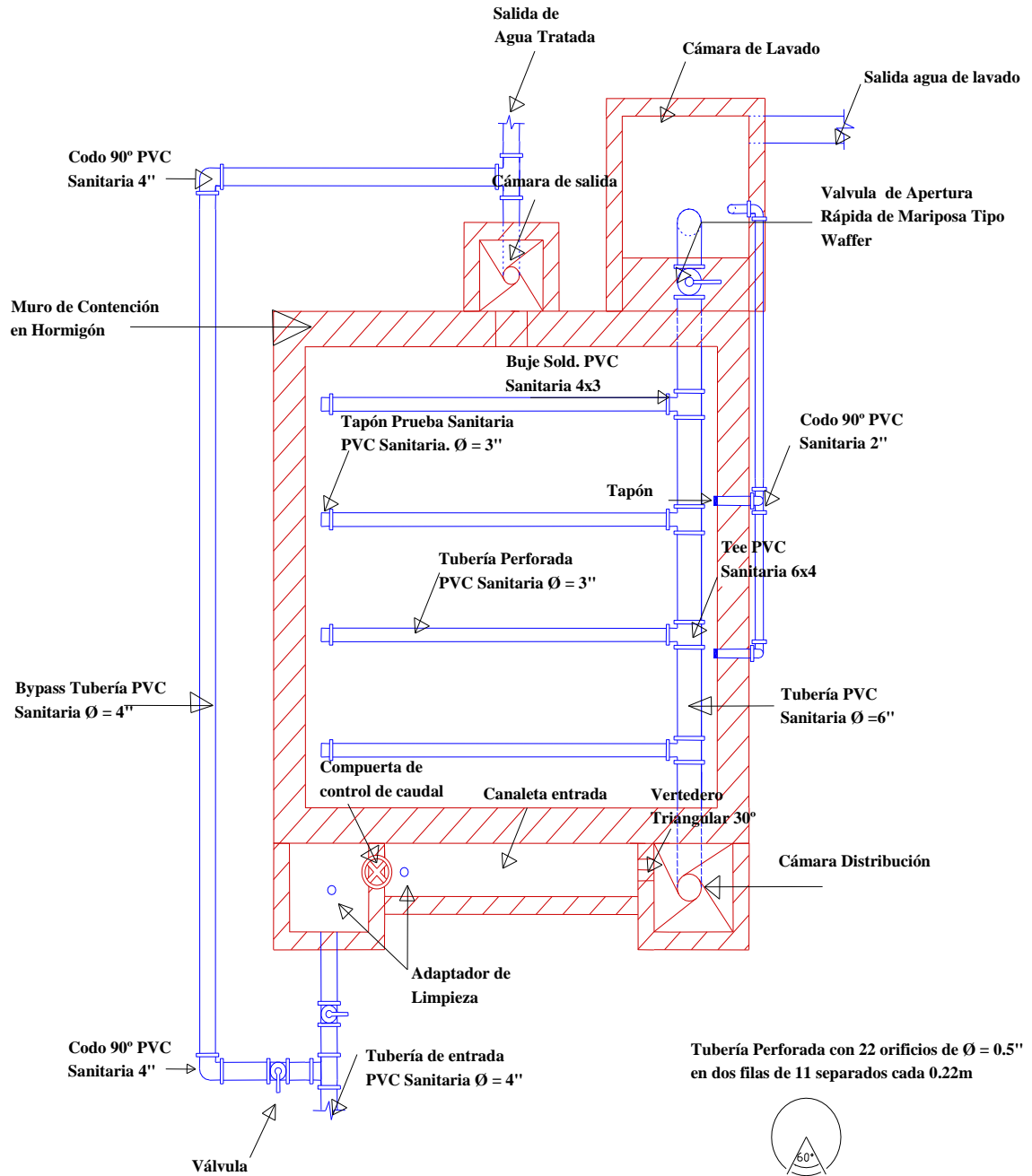
$$Largo = \frac{9,10 \text{ m}^2}{3 \text{ m}} = 3,03 \text{ m}$$

El borde libre por encima de la capa de ladrillo según el RAS está entre 0,5 a 0,9 m, en este caso se adoptará 0,5 m.

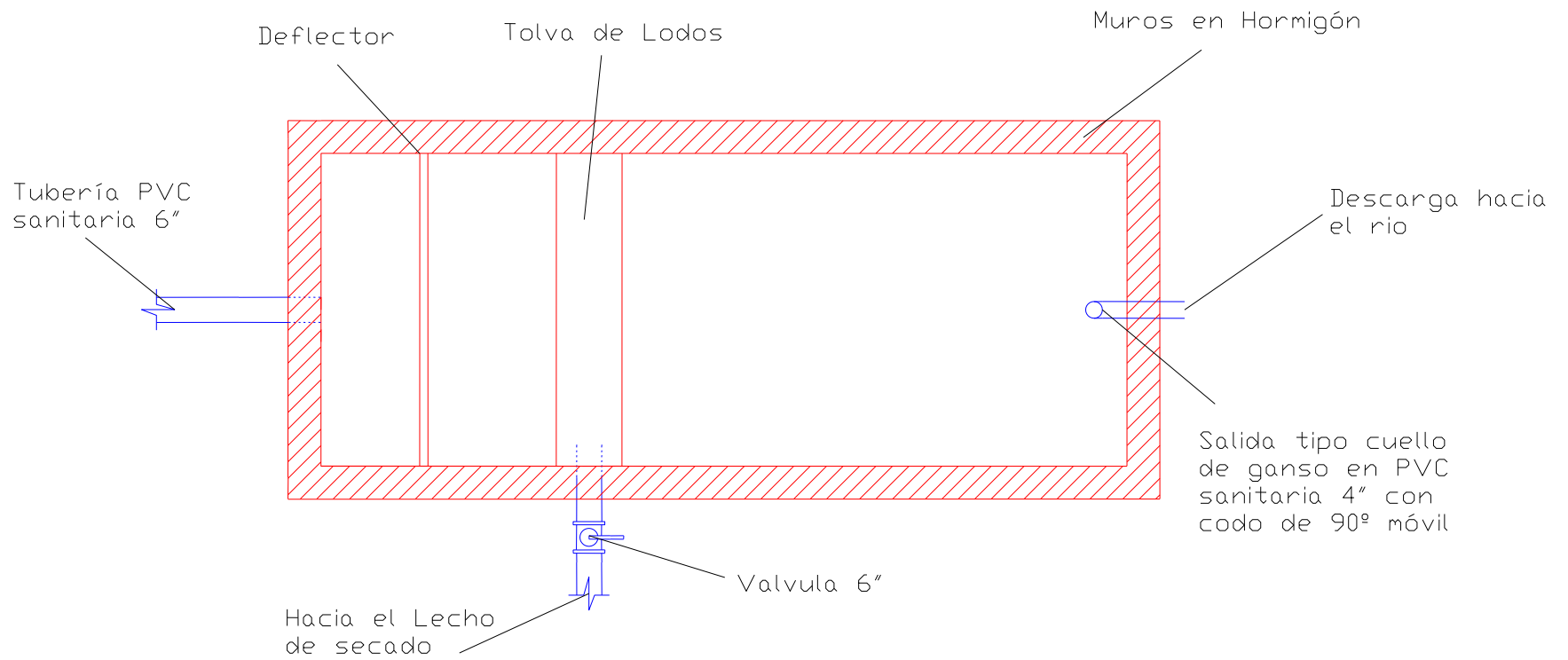
ANEXO I

ACCESORIOS DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS.

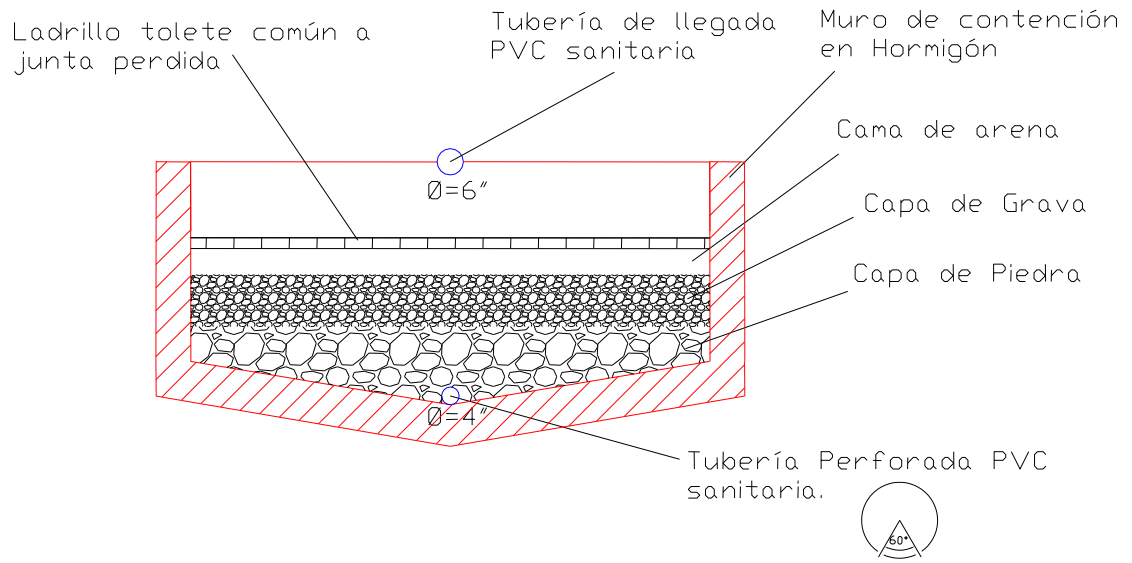
- Filtro Grueso Ascendente.



- Sedimentador



- Lecho de secado



ANEXO J

MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS SELECCIONADOS.

FILTRO GRUESO ASCENDENTE

Medición y registro de la pérdida de carga

La pérdida de carga se produce a medida que el Filtro Grueso Ascendente se tapa y se observa cuando se aumenta el nivel del agua en las cámaras de entrada del filtro. La pérdida de carga disminuye después de la limpieza del filtro, o sea que baja el nivel de agua en la cámara de entrada.

Nota: es conveniente estar pendiente de la pérdida de carga para prevenir el taponamiento y evitar la disminución del agua filtrada.

Limpieza

El Filtro Grueso Ascendente se debe limpiar como mínimo dos veces por mes para evitar que se tape con la suciedad y no deje pasar el agua. Antes de empezar la limpieza se debe abrir la válvula del bypass para que siga ingresando agua a la sala de incubación.

Limpieza de la canaleta y cámara de entrada del agua

Cerrar la válvula que permite la entrada del agua al Filtro, destapar el desagüe de la canaleta y el de la cámara de entrada. Luego cepillar las paredes, el fondo de la canaleta, el vertedero, la cámara de entrada y posteriormente enjuagar.

Limpieza de la grava superficial del Filtro

Destapar la entrada del agua al Filtro y tapar la salida para la sala de incubación. Destapar los desagües laterales del Filtro. Luego revolver con una pala la grava superficial para sacar la suciedad acumulada y dejar salir el agua hasta que aclare.

Limpieza de la grava del fondo del Filtro

Tapar la salida del agua que va hacia la sala de incubación. Luego realizar “choques”, esto consiste en abrir y cerrar la válvula de lavado por lo menos diez veces seguidas, con el fin de sacar la suciedad acumulada en la grava. Dejar que el agua salga hasta que aclare y posteriormente se cierra.

Limpieza de la Cámara de Salida

Quitar los tapones de desagüe de la cámara y mantener cerrada la salida del agua hacia la sala de incubación. Cepillar las paredes, el fondo de la cámara y posteriormente enjuagar.

Revisión de la tubería de entrada de agua al filtro

Si después de realizar adecuadamente las tareas de limpieza la pérdida de carga no disminuye, es decir, si el nivel de agua en la cámara de entrada no baja, es necesario hacer una revisión a la tubería de entrada de agua al Filtro, ya que se pueden presentar cualquier obstrucción con basura o material extraño que se encuentre en la tubería de entrada de agua al Filtro. Se realiza la revisión de la tubería introduciendo una sonda por el tubo ubicado en la cámara de entrada.

Si con la sonda no se encontró ninguna obstrucción, es posible a que la grava del Filtro presente demasiado lodo y entonces, es necesario sacar y lavar toda la grava.

Retiro y lavado de toda la grava del Filtro

Para ello, se cierra la válvula de entrada de agua al Filtro y se abre la válvula de lavado para vaciar toda el agua. Se sacan las capas de grava del Filtro separándolas por tamaño, luego se lava cada capa de grava revolviéndola con

una pala. Para este procedimiento es conveniente no mezclar las capas entre sí. Luego se cepilla las paredes, el fondo y los tubos que se encuentran en el Filtro. Posteriormente se coloca de nuevo en el Filtro las capas de grava lavadas, cuidando que queden en el mismo orden que estaban, es decir, las capas de grava grandes en la parte inferior y la grava pequeña en la parte superior.

Por último cerrar la válvula de lavado y abrir la válvula de entrada de agua al filtro para que vuelva a funcionar.

LIMPIEZA SEDIMENTADOR

La limpieza del sedimentador es conveniente realizarla durante un periodo no mayor de un mes, para ello se debe aprovechar un día en que no se laven los estanques, y además no se esté utilizando con el objetivo de facilitar la limpieza, Para la limpieza se pueden emplear los implementos usados en el Filtro, se deben lavar las paredes y el fondo de la cámara de entrada y de salida, igualmente las paredes y el fondo dentro del sedimentador y las tuberías.

MANTENIMIENTO LECHO DE SECADO

Una capa delgada se seca más rápidamente, y permite la más rápida remoción del lodo. La superficie del lecho debe mantenerse limpia y libre de todos los lodos que se hayan descargado anteriormente. Nunca deben descargarse los lodos sobre otros ya secos o parcialmente secos. Una vez descargados los lodos, las tuberías de lodos deben escurrirse bien y hacer circular agua por ellas. Esto no solo evita el taponamiento de las tuberías, sino también el desarrollo de grandes presiones originadas por los gases emanados de los lodos que queden dentro. Por este motivo, debe evitarse encender fósforos, cigarrillos o cualquier fuego, cuando se abran las válvulas de lodos.

La torta que tenga un contenido de humedad de 60 a 70 %, puede retirarse con palas o rastrillos. Después de retirar los lodos, el lecho debe prepararse para la siguiente carga. Debe reponerse la arena que se haya perdido en limpiezas anteriores.