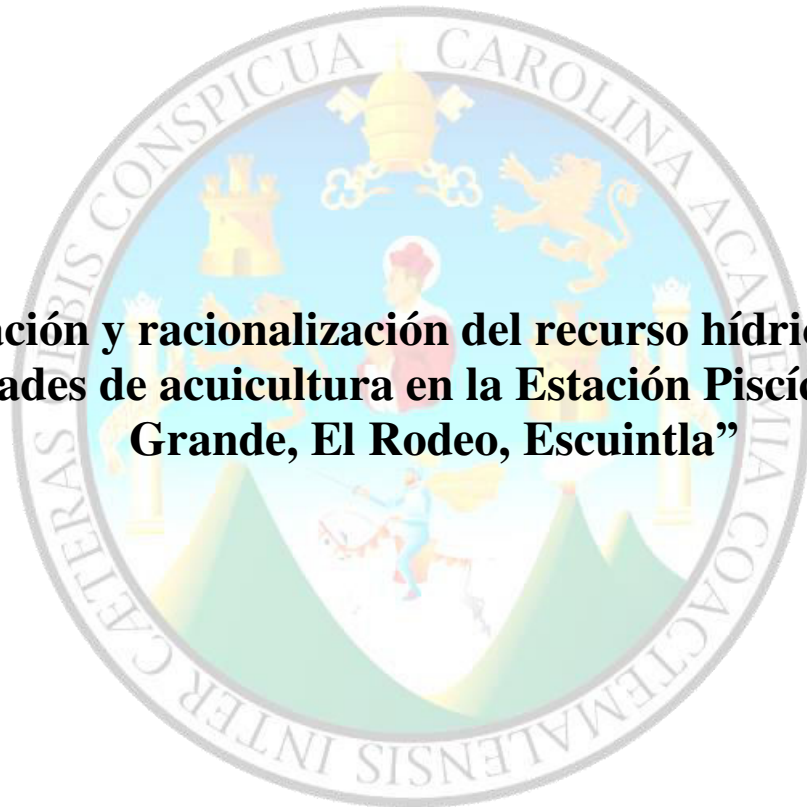


**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO DE ESTUDIOS DEL MAR Y ACUICULTURA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**“Evaluación y racionalización del recurso hídrico sometido
a actividades de acuicultura en la Estación Piscícola Sabana
Grande, El Rodeo, Escuintla”**



Presentado por:

T.A Pablo José Cazali Vega

Para otorgarle el título de:

LICENCIADO EN ACUICULTURA

Guatemala, agosto de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO DE ESTUDIOS DEL MAR Y ACUICULTURA

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente	M.Sc. Leonel Carrillo Ovalle
Coordinador Académico	M.Sc. Luis Franco
Secretaria	M.A. Olga Marina Sánchez Cardona
Representante Docente	MBA. Allan Franco de León
Representante del Colegio de Médicos	M.Sc. Adrián Mauricio Castro López
Veterinarios y Zootecnistas	
Representante Estudiantil	T.A. Francisco Emanuel Polanco Vásquez
Representante Estudiantil	P.For. María José Mendoza Arzu

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de San Carlos de Guatemala – USAC-, al Centro de Estudios del Mar y Acuicultura – CEMA- al personal y en especial a los catedráticos de la institución, por formar mi aptitud académica que permite concluir este proceso.

A la Dirección General de Pesca y Acuicultura -DIPESCA-; al Centro de Producción y Capacitación Acuícola Sabana Grande y su personal, por aceptar mis prácticas y el apoyo brindado.

A la querida, apreciada, valorada, estimada Estación Experimental de Monterrico y a todo el personal, por permitirme integrarme en sus actividades.

A las instituciones no mencionadas que participaron directa o indirectamente en mi formación académica, gracias.

A mis asesores M.Sc. Leonel Carrillo y M.Sc. Luis Franco; por su apoyo, colaboración, participación y orientación en todos aspectos de mi formación humana y profesional

DEDICATORIA

A:

Dios y a toda la creacion.

Mis padres: José Arturo Cazali y Abelina Leonor Vega:

Por su apoyo incondicional, amor y paciencia. Gracias por haberme dado su confianza, gracias por cada consejo y cada palabra.

Mi familia:

Por los recuerdos y momentos que he compartido con ustedes, me han hecho quien soy. Gracias a mis abuelos, por sus atenciones, amor y cariño.

Mis amigos:

Gracias, jugando se aprende y se vive más ameno.

“Que todos los seres sean felices..

Que todos los seres sean dichosos..

Que todos los seres sean en paz” xx

RESUMEN

La Estación Piscícola Sabana Grande es el principal centro de producción de semilla de tilapia para programas de seguridad alimentaria, propuestos por el gobierno a través del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Para el Centro de Capacitación y Producción Acuícola, es importante conocer la disponibilidad del recurso hídrico que alimenta los componentes productivos, así como las características físico-químicas del agua que utiliza para la producción y reproducción de las variedades de tilapia. La presente investigación provee los resultados de la evaluación a la calidad y disponibilidad del recurso hídrico en el centro, así como una propuesta de racionalización del recurso.

El aforo de los caudales en los canales de abastecimiento originadas de dos derivaciones independientes de ríos aledaños, abastecen la Estación Piscícola con un caudal medio estimado en 104.7 L/s. Se efectuaron análisis físicos químicos *in situ* en siete puntos de muestreo que corresponden a 5 módulos productivos y 2 fuentes de agua, con una frecuencia mensual durante los meses de abril a septiembre del 2013. Los análisis indican que la temperatura promedio del agua es de 23.4 °C, la concentración de oxígeno disuelto en 7.5mg/L, con un pH de 7.

Los análisis físico-químicos *ex situ* realizados en el Laboratorio de Investigación Aplicada LIA -CEMA, para los diferentes módulos productivos evaluados demuestran que los metabolitos limitantes: NO_2^- (mg/L), Nitratos NO_3^- (mg/L), Fosfatos PO_4^{3-} (mg/L), Amonio NH_4^+ (mg/L) y Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/L) se encuentran dentro de los rangos sugeridos por Lovitch (1967) para cultivos de tilapia gris *Oreochromis niloticus*, principal especie productiva del centro.

Mediante una congruencia técnica - biológica, se desarrolló un modelo de matemático de simulación en Microsoft Excel que permite estimar la biomasa y capacidad de carga del sistema en relación al recurso hídrico disponible, la infraestructura acuícola habilitada y las características biológicas de los organismos en cultivo. La integración de los componentes acuícolas determina la productividad del centro en 10.3 toneladas métricas de biomasa por ciclo con capacidad de carga máxima de 35.35 kg/mt³ con una utilización 77% del caudal correspondiente a 81.3 L/s, este manejo integrado permite solventar una porción del recurso disponible como caudal de conservación ecológico que se estima en un 10% mínimo.

ABSTRACT

The Aquaculture Station Sabana Grande is the main center for tilapia seed production for food security programs proposed by the government through the Ministry of Agriculture and Food. For the Training and Aquaculture Production Center it is important to know the availability of water that feeds the productive components, and the physical-chemical properties of the water being used for the production and reproduction of varieties of tilapia. This research provides the results of the evaluation about the quality and availability of water resources in the center, and a proposal to rationate the use of the water resources to maintain optimal productivity.

The capacity of the flow of water in the supply channels in the station, which originate from two independent branches of nearby rivers, supply the Center with an estimated 104.7 L/s average water flow. Physical and chemical analysis *in situ*, taken on monthly basis in seven sampling points corresponding to five productive modules and 2 water sources, during the months of April to September 2013. The results indicate that the water's average temperature is 23.4° C; dissolved oxygen of 7.5mg/L; and a pH of 7.

The physicochemical *ex situ* analyzes the Applied Research Laboratory -CEMA LIA for the different evaluated productive modules show that the limiting metabolites NO₂ (mg / L), Nitrate NO₃ (mg / L), Phosphates PO₄⁻³ (mg / L), ammonium NH₄⁺ (mg / L) and Chemical Oxygen Demand COD (mg / L) are within the ranges suggested by Lovitch (1967) for growing gray tilapia *Oreochromis niloticus*, main productive kind of center.

While maintaining a congruence of aquaculture requirements, a mathematical model simulation worksheet has been elaborated in Microsoft Excel capable to estimate biomass and load capacity of the system in relation to water resources available, the aquaculture infrastructure enabled and biological characteristics of the organisms in production. The integration of these components determines that the aquaculture productivity for the center goes by 10.3 metric tons of biomass per cycle with maximum load of 35.35 kg/mt³ with a corresponding 77% utilization rate to 81.3 L/s; this integrated management allows filling a portion available resource conservation and ecological flow estimated at 10% minimum.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCION	1
2. MARCO TEORICO	2
2.1 Marco referencial	2
2.2 Marco conceptual	3
2.2.1 La acuicultura en Guatemala	3
2.2.2 Tendencias, asuntos y desarrollo	4
2.2.3 Características generales del agua	5
2.2.3.1 Aguas superficiales	5
2.2.3.2 Parámetros físico-químicos	5
2.2.3.3 Capacidad de carga	5
2.2.3.4 Parámetros físico-químicos	6
3. OBJETIVOS	10
6.1 Objetivo General	10
6.2 Objetivos específicos	10
4. METODOLOGÍA	11
4.1 Ubicación geográfica	11
4.2 Definición de las variables	11
4.3 Selección de la muestra	12
4.4 Procedimiento de recolección de información.	13
4.4.1 Aforo de caudales	13
4.4.2 Componentes hídricos del sistema acuícola	13
4.4.3 Evaluación de calidad de agua	14
4.4.4 Modelo de racionalización y uso del agua	17
4.5 Análisis de la información	19
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
5.1 Aforo de caudal	20
5.2 Componentes hídricos del sistema acuícola	22
5.2.1 Módulo de engorde	23

5.2.2 Modulo de reproducción	23
5.2.3 Modulo de reversión sexual	24
5.2.4 Módulo de repoblamiento	24
5.2.5 Módulo de exhibición	25
5.2.6 Módulo de ensayos e investigación	26
5.3 Evaluación de parámetros físico-químicos	27
5.3.1 Transparencia	27
5.3.2 Temperatura	27
5.3.3 Oxígeno disuelto	30
5.3.4 Conductividad	32
5.3.5 pH	33
5.3.6 Demanda química de oxígeno	34
5.3.7 Nitritos NO ₂ ⁻	35
5.3.8 Nitratos NO ₃ ⁻	36
5.3.9 Fosfatos PO ₄ ⁻³	38
5.3.10 Amonio NH ₄ ⁺	39
5.4 Propuesta de manejo y distribución del agua	40
5.4.1 Demanda hídrica y caudal por módulo productivo	40
5.4.2 Propuesta de distribución de caudal	41
5.4.3 Biomasa y capacidad de carga	43
6. CONCLUSIONES	46
7. RECOMENDACIONES	47
8. BIBLIOGRAFIA	48
9. ANEXO	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.1 Ubicación de la Finca Sabana Grande, Escuintla	11
Figura No. 2 Instalaciones del Centro Acuícola Sabana Grande y puntos de muestreo	12
Figura No.3 Medición de parámetros <i>in situ</i>	15
Figura No.4 Análisis de parámetros <i>ex situ</i>	16
Figura No.5 Caja de sedimentación en el Caudal No.2	16
Figura No.6 Croquis de las instalaciones y puntos de muestreo por áreas	20
Figura No.7 Aforo correspondiente a los caudales de abastecimiento	21
Figura No.8 Comportamiento de transparencia	27
Figura No.9 Comportamiento de la temperatura	28
Figura No.10 Comportamiento del oxígeno disuelto	30
Figura No.11 Comportamiento de la conductividad	33
Figura No.12 Comportamiento del pH	34
Figura No.13 Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno DQO	35
Figura No.14 Comportamiento de Nitritos NO_2^-	36
Figura No.15 Comportamiento de Nitritos NO_3^-	37
Figura No.16 Comportamiento de Fosfatos PO_4^{3-}	39
Figura No.17 Comportamiento de Amonio NH_4^+	40

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No.1 Límites permisibles para la calidad de agua utilizada en acuicultura	9
Cuadro No.2 Consumo mg O ₂ /kg/h sin alimentación (28°C)	19
Cuadro No.3 Tabla de resultados en los aforos de caudal por mes (L/s)	22
Cuadro No.4 Capacidad hídrica total y volumen útil del componente acuícola	22
Cuadro No.5 Capacidad hídrica disponible en el módulo de engorde	23
Cuadro No.6 Capacidad hídrica disponible en el módulo de reproducción	24
Cuadro No.7 Capacidad hídrica disponible en el módulo de reversión sexual	24
Cuadro No.8 Capacidad hídrica disponible en el módulo de repoblamiento	25
Cuadro No.9 Capacidad hídrica disponible en el módulo de exhibición	25
Cuadro No.10 Capacidad hídrica disponible en el módulo de exhibición	25
Cuadro No.11 Capacidad hídrica módulo de ensayos e investigación	26
Cuadro No.12 Capacidad hídrica módulo de ensayos e investigación	26
Cuadro No.13 Valores de temperatura en grados Celsius	29
Cuadro No.14 Valores de Oxígeno Disuelto en mg/L	31
Cuadro No. 15 Módulos productivos y potencial correspondiente	41
Cuadro No.16 Módulos productivos con caudal sugerido	42
Cuadro No.17 Componentes acuícolas con datos de simulación	44
Cuadro No.18 Componentes acuícolas con capacidad de carga mínima	45

1. INTRODUCCIÓN

La acuicultura, es entendida como una actividad dirigida a producir y engordar organismos acuáticos en su medio (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación [FAO], 2006). La actividad acuícola requiere de la ciencia para avanzar en el cultivo de nuevas especies y en la mejora de sistemas productivos que se emplean (Observatorio Español de Acuicultura [OESA], 2012.) La sociedad humana está creando conciencia sobre la limitación de los recursos hidrobiológicos, esto implica adecuar el uso del agua a las disponibilidades y necesidades existentes; esta debe ser una de las principales metas estratégicas en las políticas de administración del agua a largo plazo. Los esfuerzos productivos deben enfocarse en racionar el recurso en menores cantidades, así como alternativas para implementar medidas que permitan su reutilización, así como desarrollar metodologías que permitan un máximo rendimiento (Bau, 1991).

La estación piscícola Sabana Grande, tiene como actividad económica principal la producción de alevín monosexo de tilapia reversado sexualmente. Cuenta con área de exhibición, repoblamiento, reproducción, reversión sexual y engorde. Se efectuaron aforos en los caudales de abastecimiento de fuentes naturales que derivan del río Mongoy y río Cometa, con el fin de determinar el potencial hídrico que puede ser utilizado en el componente acuícola.

En los análisis químicos se consideró las variables de calidad de agua evaluadas *in situ*: temperatura (OC), pH, concentración de oxígeno disuelto (mg/L), conductividad (CE); y, *ex situ*, en el Laboratorio de Investigación Aplicada (LIA) del CEMA-USAC se efectuaron los análisis de: Nitritos NO_2^- (mg/L), Nitratos NO_3^- (mg/L), Fosfatos PO_4^{-3} (mg/L), Amonio NH_4^+ (mg/L) y Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/L).

Con la finalidad de proveer a la administración de una herramienta que estime la capacidad de carga del sistema y biomasa, en relación con la disponibilidad y calidad del recurso hídrico existente; se elaboró un modelo de simulación en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, disponible en el Centro de Documentación e Información –CEDICEMA– de la Universidad de San Carlos de Guatemala –USAC-. Basado en un análisis del recurso hídrico existente se propone un plan de manejo acuícola acorde a las necesidades y capacidades biológicas y productivas de los diferentes módulos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco referencial

Actualmente no existe una investigación en la estación piscícola Sabana Grande cuyo objetivo principal de estudio sea la evaluación del componente hídrico, sin embargo los siguientes trabajos incluyen algunos aspectos de la misma:

La Estación Piscícola Sabana Grande contribuye fuertemente al fomento de la acuicultura a nivel nacional. Se considera como un pivote en el sostenimiento de programas de seguridad alimentaria vinculada a la acuicultura, pero igualmente, es importante en la sostenibilidad económica de proyectos de acuicultura comercial para pequeños productores, especialmente en el área sur y suroccidental de Guatemala (FAO, 2006).

En programas de seguridad alimentaria se enfatiza el apoyo de la estación a proyectos de repoblamiento de cuerpos de agua natural, sustentando pesca artesanal en los mismos. Específicamente alevines provenientes de la estación son utilizados en dos cuerpos de agua continentales, el lago de Guija con 37 000 alevines y el lago de Amatitlán con 25 000 durante el año 2004. En estos cuerpos de agua se sustentan pesquerías con 202 y 385 pescadores, respectivamente, con permiso de pesca (FAO, 2006).

Se ha realizado algunas actividades dentro del Programa de Desarrollo de la Acuicultura en Guatemala implementado por la Unidad de Manejo de la Pesca y Acuicultura -UNIPESCA- del MAGA, con apoyo financiero del Viceministerio de Seguridad Alimentaria del MAGA. También se ha apoyado la implementación de sistemas de cultivo en jaulas flotantes en el lago de Atitlán con 960 metros cúbicos de volumen de agua en producción en cinco proyectos distribuidos en las riveras del lago. No existe información detallada sobre el impacto que han tenido estos aportes a nivel económico en el área de ejecución o su aporte al alivio de la pobreza, seguridad alimentaria nacional, al desarrollo económico y su relación con el medio ambiente (FAO, 2006).

- El diagnóstico que se realizó del recurso hídrico, permite identificar las fuentes de agua entre nacimientos y ríos dentro de la micro cuenca, analizar el potencial de este recurso,

así mismo identificar y priorizar una serie de problemas que van deteriorando la calidad y cantidad del recurso hídrico. La información generada permitió realizar una priorización de problemas sobre el recurso hídrico, siendo éstos: falta de información reciente de los caudales de escorrentía entre nacimientos y ríos dentro de la finca, no se ha sistematizado la información generada por las estaciones hidrométricas y la estación climática ubicada dentro de la finca, la deforestación y malas condiciones en que se encuentran los nacimientos, no hay información reciente de la calidad química y bacteriológica de las fuentes de agua dentro de la finca (Vásquez, 2006).

- Tasa de consumo de oxígeno

El objetivo del ensayo fue determinar la variación de consumo de oxígeno en tilapia durante un periodo de 24 horas en condiciones de cría intensiva, sometiendo a un grupo a ayuno y a otro suministrando alimento durante el periodo del experimento y exponiéndose a tres diferentes temperaturas: 32°C, 34°C, 36°C y ambiente 28°C. El consumo de oxígeno fue calculado a partir de la diferencia en la concentración de oxígeno disuelto en el agua de cada acuario después de 15 minutos de haber apagado el aireador y el agitador magnético. Los datos son representados como un consumo máximo, mínimo y medio de oxígeno en mg O₂/kg/h, para las estrategias alimentarias con su respectiva temperatura (Galvis, Cueto, Navarro, y González, 2005).

2.2 Marco conceptual

2.2.1 La acuicultura en Guatemala

La acuicultura es una actividad relativamente nueva en Guatemala. Tuvo sus inicios cerca de 1970, con programas de fomento piscícola que impulsados por el gobierno guatemalteco y con apoyo del extranjero, principalmente Estados Unidos y Japón. Estos programas tenían como principal objetivo el darle a los agricultores subsistencia del área rural una alternativa de producción que propiciara su seguridad alimentaria y mejorara su consumo de proteína animal (Marroquín, 2000).

Estos programas trabajaron principalmente con cultivos extensivos, y sistemas integrados de producción, en los que las especies acuícolas de cultivo eran carpa (*Cyprinus carpio*),

tilapia (*Oreochromis sp.*), y en algunos casos también caracol (*Pomacea sp.*) y almeja catarina (*Argopecten circularis*) (Marroquín, 2000).

2.2.2 Tendencias, asuntos y desarrollo

El consumo de pescado por habitante observado en el período 1967-1969 fue de 0,5 kg y para 1990 se estima en unos 0,9 kg en la zona urbana y de 3 kg en la zona costera de ambos litorales. La información más reciente indica que para el año 2000 se consumen 2,0 kg per cápita, pero no se conoce el aporte a la nutrición familiar, aunque extraoficialmente es sabido que el consumo y la oferta han aumentado fuertemente en los últimos cinco años. No existe ningún programa de gobierno para desarrollar la acuicultura rural, sin embargo las acciones aisladas han permitido a pequeños agricultores que antes se dedicaban al cultivo del café incursionen en la piscicultura. En la zona costera del Pacífico guatemalteco se ha notado un importante desarrollo del cultivo de tilapia, lo que se debería a las bajas capturas de peces en el mar y esteros (FAO, 2006).

La acuicultura en Guatemala se ha desarrollado con dos especies de cultivo, desde el punto de vista comercial y de exportación, uno con la camaronicultura marina y como cultivo para consumo local o interno con el cultivo de tilapia. En la década de los 90 la industria acuícola de exportación sufre un duro revés con la aparición de enfermedades virales que provocan altas mortalidades. Posteriormente a finales de la misma década el huracán Mitch arrasa con las principales granjas productoras inundándolas y provocando pérdida del producto próximo a cosechar. Debido a estos factores y a la inexistencia de una cartera de crédito para el sector, los pequeños productores no pueden iniciar nuevamente el cultivo y gradualmente son absorbidos por los productores de mayor capacidad económica. Sin embargo la producción se mantiene dentro de los niveles alcanzados a principios de la década (FAO, 2006).

A partir del año 1995 la proyección de la industria se sustenta en las mejores técnicas de manejo del cultivo con manejo de recambios de agua, alimentación y disminución del estrés. Posteriormente se introducen post larvas mejoradas provenientes de Panamá, Honduras, Ecuador, Estados Unidos y México, lo que viene a renovar el interés por el

cultivo e induce a los pioneros de la industria a construir laboratorios de producción larval con material genético mejorado en el país y metodologías de reproducción implementadas desde Colombia y Ecuador (FAO, 2006).

2.2.3 Características generales del agua

2.2.3.1 Aguas superficiales

Son las aguas continentales que se encuentran en la superficie de la Tierra. Pueden ser corrientes que se mueven en una misma dirección y circulan continuamente, como los ríos y arroyos; o bien estancadas como los lagos, lagunas, charcas y pantanos. Las aguas que discurren en la superficie de la tierra son muy importantes para los seres vivos, a pesar de que suponen una ínfima parte del total del agua que hay en el planeta. Su importancia reside en la proporción de sales que llevan disueltas, la cual es inferior en comparación con las aguas marinas. En general proceden directamente de las precipitaciones que caen desde las nubes (Vilaseca, 2006).

2.2.3.2 Caudal y caudal de conservación ecológico

Caudal es el flujo por unidad de tiempo generalmente expresado en litros o m³ por segundo, multiplicado por unidad de tiempo: día, mes o año. Se podría definir como el agua reservada para preservar valores ecológicos; los hábitats naturales que cobijan una riqueza de flora y fauna, las funciones ambientales como purificación de agua, amortiguación de los extremos climatológicos e hidrológicos, los parques naturales y la diversidad. Esto implica que después de los usos de agua para: consumo humano, aprovechamiento agrícola e industrial hay que mantener un caudal para la naturaleza, que sirve para conservar la biodiversidad y las funciones ambientales. En ausencia de estudios se define el caudal ecológico muchas veces como 10% del caudal medio anual como mínimo (Verweij, 2002).

2.2.3.3 Capacidad de carga

En el desarrollo de los cultivos artificiales para peces, uno de los factores de mayor importancia es la determinación del número y tamaño de los estanques para obtener un mejor aprovechamiento de la infraestructura a proyectar en función de la producción esperada. La determinación de la capacidad de carga (masa animal/unidad de área) y el área

de un estanque, se realizan mediante métodos empíricos para cada caso en particular o bien se emplean técnicas como la que se basa en el criterio de que la cantidad de peces a cultivar está relacionada directamente con la cantidad de alimento que el pez obtiene del medio y la cantidad de oxígeno disponible que pueda metabolizar. La capacidad de carga está relacionada a como factores la concentración de oxígeno que entra, la que sale, el volumen de agua del estanque y los gramos de oxígeno necesarios para metabolizar una libra de alimento (Cabrera Peña, J., y Mora Jamett, M., 1982).

2.2.3.4 Parámetros físico-químicos

Para medir la calidad del agua se emplean diversos parámetros e índices que permiten cuantificar el grado de alteración de sus características naturales. Se pueden distinguir parámetros físicos, químicos y biológicos. Los parámetros físicos incluyen la temperatura, turbidez, conductividad eléctrica, propiedades organolépticas como el color, sabor y olor (Recursos de Biología y Geología, 2013).

Los parámetros químicos son los más útiles para determinar la calidad del agua. Los más utilizados son:

- Oxígeno disuelto.

De acuerdo al Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y El Caribe [CATHALAC] (2013) en el manual provisto “Ensayos *In-situ*”, el Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua. Es un indicador de cómo de contaminada está el agua o de lo bien que puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.

El oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua, por lo que están muy influidos por las turbulencias del río (que aumentan el OD) o ríos sin velocidad (en los que baja el OD). Parte del oxígeno disuelto en el agua es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas, por lo que ríos con muchas plantas en días de sol pueden presentar sobresaturación de OD. Otros factores como la salinidad, o la altitud

(debido a que cambia la presión) también afectan los niveles de OD (Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y El Caribe [CATHALAC], 2013).

La cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua (OD) depende de la temperatura. El agua más fría puede contener más oxígeno en ella que el agua más caliente. Los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 7 y 12 partes por millón (ppm o mg/l) (CATHALAC, 2013). Para la tilapia se considera una concentración mínima de 4 mg/L de oxígeno disuelto en el medio)¹.

- Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno, (DQO), del agua puede considerarse como una medida aproximada de la demanda teórica de oxígeno, es decir la cantidad de oxígeno consumido para la oxidación total de los constituyentes orgánicos a productos inorgánicos, se expresa en mg/L (Asociación Española de Normalización y Certificación [AENOR], 2002).

- Nitritos (NO₂-)

La presencia de nitritos en el agua es un indicativo de contaminación de carácter fecal reciente. En aguas bien oxigenadas, el nivel de nitrito no suele superar 0.1mg/L. Cabe resaltar que el nitrito se halla en un estado de oxidación intermedio entre el amoníaco y el nitrato. Los nitritos en concentraciones elevadas reaccionan dentro del organismo con aminas y amidas secundarias y terciarias formando nitrosaminas de alto poder tóxico en animales y cancerígeno para los humanos (Prat, Munné, Rieradevall, Solà, y Bonada, 1999).

Valores por encima de 1.0 mg/L son totalmente tóxicos y representan un impedimento para el desarrollo de la vida piscícola y el establecimiento de un ecosistema fluvial en buenas condiciones. En general, la concentración de nitritos en el agua es muy baja, pero puede aparecer ocasionalmente en concentraciones inesperadamente altas debido a la concentración industrial y de aguas residuales domésticas (Vilaseca, 2006).

¹ Franco, L. (2013, junio). *Requerimientos de Oxígeno Disuelto en el medio para tilapia* [entrevista]. Guatemala: Centro de Estudios del Mar y Acuicultura [CEMA] de la Universidad de San Carlos de Guatemala [USAC].

-Nitratos (NO₃-)

Los nitratos constituyen la especie nitrogenada más abundante y de mayor interés en los cuerpos de aguas superficiales y/o subterráneas. En los primeros se halla en cantidades traza, en tanto que en los segundos, puede llegar a alcanzar niveles altos. La determinación de nitratos es importante ya que cuando se halla en elevadas concentraciones en las aguas de consumo humano, es causante de la enfermedad infantil conocida como “metahemoglobinemia”, que se caracteriza por la incapacidad de la sangre para absorber oxígeno (Metcalf, y Eddy, 1995).

Los nitratos, así como los fosfatos, constituyen uno de los nutrientes esenciales para muchos organismos autótrofos fotosintéticos y en este sentido, los fenómenos de eutrofización de lagos, pueden estar relacionados directamente con una elevada concentración de nitratos en el agua (Prat, Munné, Rieradevall, Solà, y Bonada, 1999).

- Fosfatos (PO₄⁻³)

El fósforo se presenta en aguas naturales y residuales casi exclusivamente bajo la forma de fosfatos, (H₃PO₄, ácido ortofosfórico, HPO₃, ácido metafosfórico y H₄P₂O₇, ácido pirofosfórico), siendo el más importante de ellos el ortofosfato. Todas las demás formas de fosfato se convierten a ortofosfato por calentamiento. Algunas veces, aunque con menor frecuencia, el fósforo puede estar presente en el agua bajo la forma de estructuras orgánicas tales como fosfolípidos y fragmentos de cadenas peptídicas (Metcalf, y Eddy, 1995).

El fósforo en el agua proviene de diversas fuentes, algunos son procesos de tratamiento de aguas que utilizan pequeñas cantidades de fosfatos condensados como agentes floculantes; procesos de lavado con detergentes tanto a nivel industrial como doméstico; de las aguas residuales de los procesos agrícolas, en donde los ortofosfatos constituyen uno de los principales productos fertilizantes (Prat, Munné, Rieradevall, Solà, y Bonada, 1999).

Debido a que el fósforo es uno de los elementos esenciales que limitan la productividad primaria en muchos cuerpos de agua, las descargas de vertimientos fosfatados producen en los cuerpos receptores un crecimiento abrupto y repentino en la biota fotosintetizadora, que

generalmente acaba por cubrir la superficie y asfixiar los lagos. Por ello, es importante conocer las concentraciones de fósforo en las aguas residuales, antes de verterlas a los cuerpos receptores (Prat, Munné, Rieradevall, Solà, y Bonada, 1999).

Los fosfatos en cultivos acuícolas, pueden generar eutrofización si los recambios de agua no son constantes, perjudicando en la disponibilidad de oxígeno para los organismos en cultivo durante la noche.

- Amonio (NH₄⁺)

Existe una forma disociada del Amoniaco (NH₃) que es el Amonio (NH₄⁺) y es mucho menos tóxica. La proporción entre el amoniaco y el amonio se debe al pH y a la temperatura del agua (cuanto más alto sean el pH y la temperatura más Amoniaco y menos amonio se obtendrá) (Prat, Munné, Rieradevall, Solà, y Bonada, 1999).

Generalmente el NH₄⁺, o el amoniaco libre, aparecen solo como trazas en aguas subterráneas, aumentando su concentración cuando el medio es fuertemente reductor. Este compuesto es el producto final de la reducción de sustancias orgánicas o inorgánicas nitrogenadas que naturalmente se incorporan al agua subterránea (Prat; et al., 1999). Dado que la presencia de amonio favorece la multiplicación microbiana su detección en cantidades significativas en el agua se considera como indicación de contaminación reciente del agua (Cuadro No. 1) (Prat, Munné, Rieradevall, Solà, y Bonada, 1999).

Cuadro No. 1. Límites permisibles para la calidad de agua utilizada en acuicultura

<i>Parámetro</i>	<i>Límites permisibles</i>
Temperatura	35 °C
Oxígeno Disuelto	2.0mg/L – 6.4mg/L
Salinidad	0ppt-35ppt
Nitrito NO ₂ ⁻	1.0mg/L
Nitrato NO ₃ ⁻	1.5 mg/L a 2.5 mg/L
Fosfatos PO ₄ ⁻³	0.15 mg/L- 1.0mg/L
Amonio NH ₄ ⁺	0.50mg/L
pH	6.5-8.5

Fuente: Lovitch, 1967.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Evaluar cualitativa y cuantitativamente el recurso hídrico disponible en la estación piscícola Sabana Grande con fines de racionalizar por módulos las actividades de acuicultura.

3.2 Objetivos específicos

- Aforar las dos fuentes de abastecimiento de agua de la estación piscícola.
- Determinar los requerimientos hídricos del componente acuícola en la estación piscícola.
- Evaluar la calidad del agua de las dos fuentes de abastecimiento y de las aguas de desfogue en los módulos de exhibición, reproducción, repoblamiento, reversión sexual y engorde de la estación piscícola.
- Diseñar un modelo matemático de simulación para estimar la capacidad de carga y biomasa del sistema, en relación al manejo del recurso hídrico según prioridades productivas de los componentes acuícolas de la estación piscícola.

4. METODOLOGÍA

4.1 Ubicación geográfica

La finca Sabana Grande se encuentra ubicada en la aldea El Rodeo, del departamento de Escuintla Latitud norte $14^{\circ} 22' 03''$ y Longitud oeste $90^{\circ} 49' 48''$ (Figura No. 1), (Zepeda, 2004). Posee una extensión de 216 hectáreas equivalente a 2.16km^2 . El relieve de la zona va de gradualmente ondulada a plana con pendientes que varían del 0% al 30%, con una cota media de 650 msnm, teniendo su punto más bajo a 620 msnm y el punto más alto a 780 msnm (Vásquez, 2006).

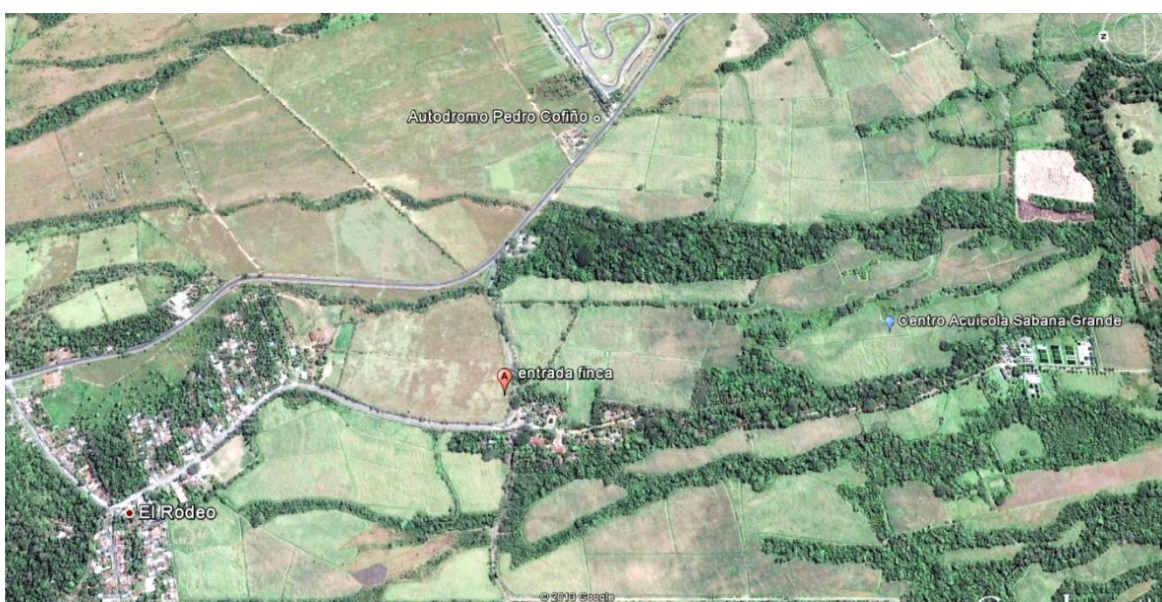


Figura No. 1. Ubicación de la finca Sabana Grande, Escuintla (Google Earth, 2013)

4.2 Definición de las variables

Las variables independientes *in situ* evaluadas fueron, aforo de caudales, (L/s); mientras que las variables de calidad de agua fueron, temperatura ($^{\circ}\text{C}$), concentración de oxígeno disuelto (mg/L), conductividad ($\mu\text{S/cm}$).

Ex situ, en el Laboratorio de Investigación Aplicada (LIA) del CEMA-USAC, se realizaron análisis de Nitritos NO_2^- (mg/L), Nitratos NO_3^- (mg/L), Fosfatos PO_4^{-3} (mg/L), Amonio NH_4^+ (mg/L), Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/L) y pH.

Y las variables dependientes:

Biomasa. (kg)

Capacidad de carga. (kg/mt³)

4.3 Selección de la muestra

- Las fuentes de agua que abastecen la estación piscícola, son dos derivaciones de los ríos que han sido intervenidos mediante la construcción de una represa con el fin de canalizar el agua en canales de abastecimiento y ser distribuido a los módulos productivos. La derivación del río Mongoy abastece los módulos de reproducción, parte de reversión sexual, engorde y exhibición. La derivación del Río Cometa abastece los módulos de repoblamiento y parte de reversión sexual (Figura No. 2).

- Los módulos productivos de la estación piscícola (reproducción, reversión sexual, engorde, exhibición y repoblamiento), fueron evaluados para determinar el estado de calidad de agua de sus efluentes antes de ser descargados en la fuente natural.



Figura No. 2. Instalaciones del Centro Acuicola Sabana Grande y puntos de muestreo (Google Earth, 2013).

4.4 Procedimiento de recolección de información

4.4.1 Aforo de caudales

La cantidad del caudal disponible va a definir el volumen de la instalación y en último término la producción total. La estación piscícola Sabana Grande, cuenta con dos fuentes de agua que abastecen los 5 módulos de producción; para la estimación del caudal se utilizó el método de velocidad y área, el cual se llevó a cabo con una medición en cada canal de distribución de 10 metros de longitud en el cual se mide el tiempo que tarda un flotador en recorrer la distancia, esto permite determinar la velocidad del agua. Posterior se utilizó una ecuación hidráulica de caudales que utiliza el área del canal de distribución por la velocidad del agua, multiplicado por un factor de corrección del 0.6 por fricción del viento^{2 3}

Esta fórmula permite determinar el caudal de abastecimiento en las dos fuentes de abastecimiento. Se efectuó un aforo mensual en época de transición seca-lluviosa (abril/mayo) y tres en época lluviosa (julio/agosto/septiembre) en cada canal de distribución, para estimar las variaciones en la cantidad disponible del recurso.

Fórmula para cálculo de velocidad y caudal:

$$V = D/T$$

Dónde:

V= Velocidad

D= Distancia

T= Tiempo

$$Q = (A * V) * 0.6$$

Dónde:

Q= Caudal

A= Área del canal

V= Velocidad

0.6= Factor de corrección

² Herrera, O. (2013, febrero). *Metodología para el aforo de caudales* [entrevista]. Guatemala: Escuela Nacional Central de Agricultura [ENCA].

³ Gordillo, C. S. (2014, febrero). *Metodología para el aforo de caudales* [entrevista]. Guatemala: Centro de Estudios del Mar y Acuicultura [CEMA] de la Universidad de San Carlos de Guatemala [USAC].

4.4.2 Componentes hídricos del sistema acuícola

El requerimiento hídrico de la estación se determinó mediante el cálculo matemático del volumen disponible y que es requerido para el funcionamiento de los módulos. Se lleva a cabo una sumatoria de todos los estanques para obtener la capacidad hídrica del componente disponible en cada módulo productivo del complejo acuícola.

Se concluyó que la altura de las bordas en las piletas posee una altura muerta promedio de 20 cm, por lo que se restó a la medida total de la pared de la pileta con el fin de estimar el volumen útil de cada componente.

4.4.3 Evaluación de calidad de agua

El Centro de Producción y Capacitación Acuícola, Sabana Grande, cuenta con dos fuentes de abastecimiento que provienen de dos derivaciones y cinco módulos productivos (engorde, reproducción, reversión sexual, repoblamiento y exhibición).

a) Monitoreo de parámetros *in situ*

El monitoreo fue realizado durante las primeras horas del día. Se procedió utilizando una sonda multiparamétrica Marca YSI serie 550A que se introdujo en los estanques por 1 minuto o hasta que se estabiliza la lectura para evaluar, oxígeno disuelto (OD), Temperatura (°C) y conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (Anexo No.1).

Se realizaron mediciones en cinco estanques al azar por módulo para obtener una media estadística. Todos los datos de campo fueron registrados en una bitácora que incluyó fecha, número de muestreo y parámetros evaluados (Figura No. 3).



Figura No. 3. Medición de parámetros *in situ* (Trabajo de campo, 2013)

b) Monitoreo de parámetros *ex situ*

Para el monitoreo de parámetros físico-químicos *ex situ* (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{-3} , DQO, pH) la recolección de muestras fue individual en cada uno de los puntos de muestreo haciendo un total de 7 muestras por cada monitoreo mensual. Los recipientes utilizados para la captación de las muestras fueron envases de plástico con cierre hermético, lavados *in situ* para evitar residuos de materiales extraños en los mismos que alteraran la muestra. Los resultados fueron anotados en la bitácora correspondiente (Anexo No. 2).

La toma de la muestra se realizó directamente en los canales de distribución o en los estanques de cada módulo, lavando cada uno de los envases 3 veces con la misma agua de los puntos de muestreo. Estas fueron transportadas en frío (4°C) dentro de una hielera. El tiempo de transporte y conservación no excedió las 24 horas hasta su análisis.

Los análisis *ex situ* de parámetros físico – químicos fueron realizados en el Laboratorio de Investigación Aplicada (LIA), del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura CEMA, en la Universidad San Carlos de Guatemala. El equipo para los análisis es un Colorímetro Marca NOVA 60A. Se utilizaron los kits comerciales marca Merck serie Spectroquant para uso con Colorímetro Nova (Figura No.4); los análisis de Nitritos NO_2^- (mg/L), Nitratos NO_3^- (mg/L), Fosfatos PO_4^{-3} (mg/L), Amonio NH_4^+ (mg/L) y Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/L).



Figura No. 4. Análisis de parámetros *ex situ* (Trabajo de campo, 2013)

- Fuentes de abastecimiento

Se recolectaron muestras en las cajas de sedimentación de cada canal de abastecimiento (Figura No. 5) que provienen de las dos derivaciones que abastecen a la estación, dos en época de transición seca-lluviosa (abril/mayo) y dos en época lluviosa (julio/agosto). La recolección de muestras fue individual para cada una de las fuentes de agua, se tomó 1 sub-muestra de 250 ml en cada muestreo siendo un total de 8 muestras entre las 2 cajas de abastecimiento, durante los 4 meses evaluados. La evaluación de las muestras en laboratorio dio un total de 40 resultados de análisis sobre parámetros *ex situ*.



Figura No. 5. Caja de sedimentación en el Caudal No.2 (Trabajo de campo, 2013)

- Módulos productivos

Los muestreos para evaluar los parámetros de la calidad de agua en los módulos productivos (engorde, reproducción, reversión sexual, exhibición, repoblamiento) se realizaron con una constancia mensual durante 4 meses, dos en época de transición seca-

lluviosa (abril/mayo) y dos en época lluviosa (julio/agosto). Se procedió a tomar 1 submuestra de 500 ml en cinco estanques al azar, para luego concentrarlos en una muestra compuesta para obtener el volumen de 250 ml para analizar por módulo.

Se realizaron 5 muestreos mensuales que representan cada módulo productivo. Cada punto de muestreo se sometió a una evaluación de 5 parámetros en laboratorio para un total de 80 análisis durante los 4 meses evaluados. El mes de agosto no se evaluó DQO por indisponibilidad de reactivos, así como el mes de junio en el módulo de reversión por estar inhabilitado.

4.4.4 Modelo de simulación y racionalización del uso del agua

Para realizar el modelo matemático de simulación que estima capacidad de carga y biomasa, de la cual parte la propuesta de racionalización sobre el recurso hídrico en el Centro de Producción y Capacitación Acuícola, se procede a la ordenación de la información obtenida en los muestreos y análisis en tablas de datos de Windows Excel.

Se estima la capacidad de carga en kg/m^3 para proveer una sugerencia de densidades de siembra en relación al caudal oxígeno disponible y capacidad hídrica en los componentes acuícola.

Para determinar la tasa de respiración de oxígeno por pez por hora, se utilizó la siguiente fórmula (Boyd, 1979):

$$Y = 0.001W^{0.83}$$

Donde

Y = miligramos de O_2 consumido por pez por hora

W = masa promedio del pez en gramos

Para determinar la biomasa (kg) que el componente acuícola soporta, partimos de la siguiente fórmula y despejamos biomasa (Jover, 2003):

$$Q = \frac{B \text{ (kg)} \times Tc \text{ (mg/kg/h)}}{Od \text{ (mg/l)}}$$

Dónde:

Q = Caudal total disponible

B = Biomasa (kg)

Tc = Tasa de consumo de oxígeno de la tilapia (mg/kg/h)

Od = Oxígeno disuelto en el caudal (mg/L) (-) Requerimiento mínimo de O₂ para tilapia (mg/L).

$$B = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/h)} \times \text{Od (mg/L)}}{Tc \text{ (g/Tm/h)}}$$

Para estimar la capacidad de carga, se utiliza la fórmula:

$$K = B/Q$$

Dónde:

K = Capacidad de carga

B = Biomasa

Q = Caudal

Se estimó una *capacidad de carga* mínima y máxima. La capacidad máxima es en relación a los resultados obtenidos en los análisis *ex situ* realizados en el Instituto de Investigación Aplicada del CEMA, junto a los resultados de oxígeno disuelto *in situ*, lo que provee de tasas de consumo inherentes a los ciclos naturales de procesos de eutrofización y respiración de los organismos en ambientes acuícolas, por lo que se utiliza para el cálculo de biomasa que soporta el sistema.

La capacidad de carga mínima se obtiene al relacionar los resultados del estudio “*Consumo de oxígeno de juveniles de tilapia (Oreochromis niloticus) bajo diferentes condiciones de temperatura y su relación con la alimentación*” (Galvis, Cueto, Navarro, y González, 2005).

La tasa de consumo que se aplica para estimar la biomasa y se utiliza para el cálculo de la capacidad de carga, se obtuvo del estudio anteriormente mencionado mediante la relación de los datos del ensayo en conjunto, con los resultados del presente estudio. La tasa de consumo se incrementa permitiendo estimar una capacidad de carga mínima debido al

incremento de la demanda de oxígeno. El cuadro a continuación describe los resultados de la investigación sobre consumo de oxígeno realizado en 2005 a una temperatura ambiente de 28°C. ⁴

Cuadro No. 2. Consumo mg O₂/kg/h sin alimentación (28°C)

Máximo	168.35
Mínimo	5.39
Medio	43.66

Fuente: Galvis, O., Cueto, A., Navarro, Y., y González, P. (2005).

4.5 Análisis de la información

Los parámetros indicadores de calidad del agua *ex situ* fueron analizados en el Laboratorio de Investigación Aplicada (LIA) del CEMA-USAC. Se utilizó el paquete Excel de Windows para tabular y analizar los datos correspondientes a cada módulo de muestreo (Anexo No.3-12). Se realizó una comparación de los parámetros evaluados que permite presentarlos gráficamente y representar los distintos niveles de calidad de agua generados en los diferentes módulos.

Al final de la fase de análisis se ha diseñado un modelo matemático de administración del recurso agua, basada en una racionalización del recurso según los requerimientos de los diferentes módulos y a intereses económicos de la administración, el criterio de se basa en la congruencia técnico-económica entre factores de disponibilidad, calidad y mercadeo de productos.⁵

⁴ Galvis, O., Cueto, A., Navarro, Y., y González, P. (2005). *Consumo de oxígeno de juveniles de tilapia (Oreochromis niloticus) bajo diferentes condiciones de temperatura y su relación con la alimentación.* Colombia: Universidad del Atlántico.

⁵ El modelo de simulación se encuentra disponible en CD adjunto a esta investigación. Disponible en: Centro de Documentación e Información -CEDICEMA- USAC.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Aforo de Caudal

El canal de abastecimiento correspondiente al Caudal No.1 del río Cometa, representado con color rosa en la Figura No.6, suministra los módulos de repoblamiento y parte del módulo de reversión sexual; Su caudal presento una aumento entre los meses de mayo y Julio de 33.2 L/s, generando un aforo máximo de 58.4 L/s en julio. Este canal de abastecimiento mantuvo aumentos constantes en su caudal para los siguientes meses, marcando una diferencia significativa entre la transición de época seca a lluviosa. Al concluir la evaluación se obtuvo una media de 43.0 ± 18.6 L/s.

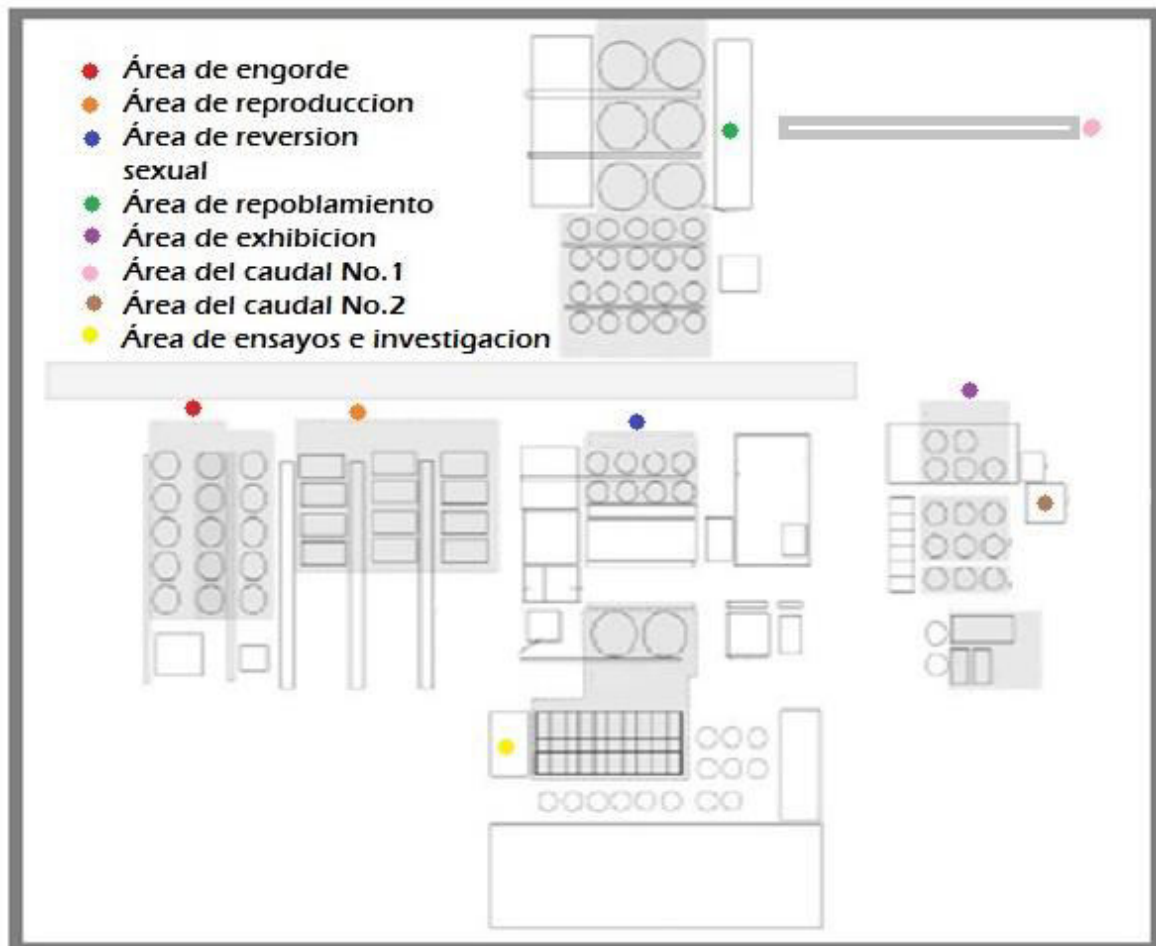


Figura No. 6. Croquis de las instalaciones con los puntos de muestreo por áreas (Orellana, 2009)

El canal de abastecimiento correspondiente al Caudal No.2 del río Mongoy, que se representa con color café en la Figura No.6 es el destinado para los módulos de engorde, reproducción, exhibición, área de ensayos e investigación y parte del módulo de reversión. Este inició el periodo de evaluación con un aforo de 20.4 L/s en abril (Figura No. 7) muy debajo de la capacidad del sistema de distribución, principalmente debido a la concentración de materia orgánica que obstaculizó el flujo del agua, así como los sacos de arena fuera de posición que forman el embalse que desvía el río hacia el canal de distribución, problemas que se corrigieron en los siguientes meses.

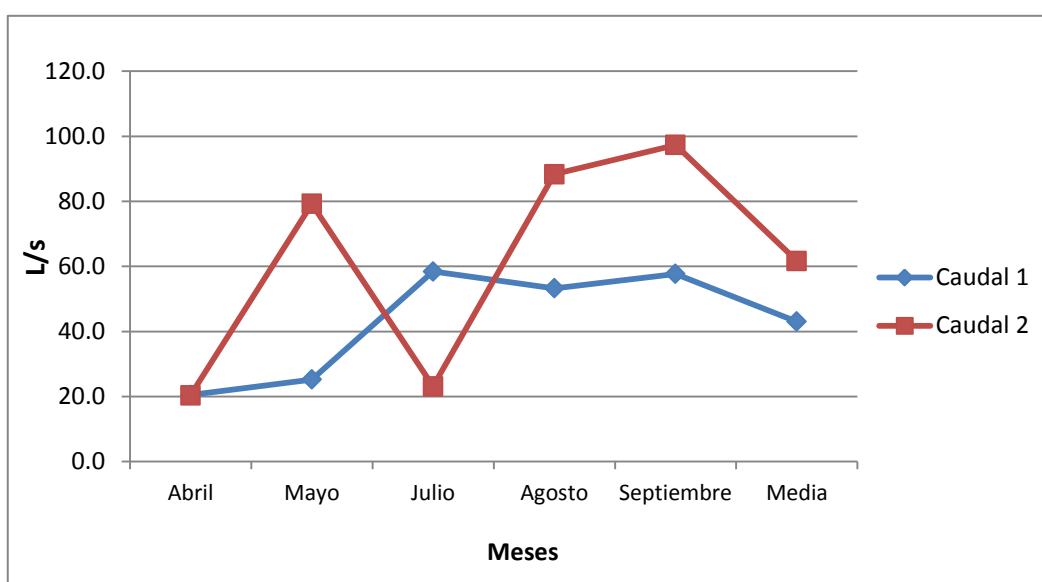


Figura No. 7. Aforo correspondiente a los caudales de abastecimiento en los meses de abril a septiembre del 2013 (Trabajo de campo, 2013)

Se observa que durante el mes de mayo hubo un incremento en el volumen de agua del Caudal No.2 debido al mantenimiento que se efectuó en el canal de distribución, se obtuvo un aforo de 79.2 L/s en ese mes. La variación en el mes de julio es a causa de que en junio se comenzaron trabajos de mantenimiento en puentes peatonales dentro de la finca, lo que detuvo de manera considerable el flujo del agua hacia el centro, lo que causó la fluctuación en los resultados del estudio y no se efectuaron mediciones en junio.

El mes de mayor volumen de agua en el canal de distribución del Caudal No. 2 se dio en el mes de septiembre con 97.3 L/s (Cuadro No. 3), esto debido a las altas precipitaciones que marcan la época lluviosa en la región. Se obtuvo una media de 61.7 ± 37.0 L/s al final del

estudio, tomando en cuenta el imprevisto de la re estructuración de los puentes que conectan en la finca.

Cuadro No. 3. Tabla de resultados en los aforos de caudal por mes (L/s)

Aforo	abril	mayo	julio	agosto	septiembre	Media	D.E
Caudal 1	20.5	25.2	58.4	53.3	57.7	43.0	18.6
Caudal 2	20.4	79.2	23.1	88.3	97.3	61.7	37.0

Fuente: Trabajo de campo, 2013.

Como dato final se estima que el volumen total de agua disponible para el centro acuícola es de 104.7 L/s, que se obtiene de la sumatoria de las medias en ambos caudales.

5.2 Componentes hídricos del sistema acuícola

Para determinar el requerimiento hídrico del componente acuícola se realizaron mediciones en el área de las piletas y estanques de todo el centro, se obtuvo el volumen de agua total y el volumen útil en cada uno de los sistemas (Cuadro No.4), ejemplo, el módulo de repoblamiento cuenta con un volumen total de 474 m³ y un volumen útil de 396 m³.⁶

Cuadro No. 4. Capacidad hídrica total y volumen útil del componente acuícola

Nombre del módulo productivo	Volumen total	Volumen útil
Módulo de reproducción	2 400	2 400
Módulo de engorde	1 185	990
Módulo de repoblamiento	474	396
Módulo de reversión sexual 1	400	340
Módulo de reversión sexual 2	160	136
Módulo de exhibición	338	286
Módulo de ensayos e investigación	496	417
Total	5453	4956

Fuente: Trabajo de campo, 2013.

⁶ El *volumen útil* se estima en relación a la altura del nivel del agua dentro de los estanques, una medida estándar de 80 centímetros.

Se utilizó fórmulas matemáticas de volumen para determinar la capacidad de cada uno de los módulos, en relación al número de estanques disponibles y mediante la sumatoria de los volúmenes en cada módulo se determinó que el volumen total del componente acuícola es de **5 453m³** de volumen total y **4 956 m³** de volumen útil.

$$\text{Volumen de pileta} = \text{Pi} * \text{r}^2 * \text{h}$$

r = radio del cilindro

h = Altura

$$\text{Volumen de estanque} = \text{p}^1 * \text{p}^2 * \text{h}$$

P^{1,2} = Perímetro 1 y 2

5.2.1 módulo de engorde

El módulo de engorde cuenta con quince piletas de concreto de diez metros de diámetro. Cada pileta posee un volumen disponible de 79 m³ y un volumen útil de 66 m³. El módulo cuenta con un volumen total útil de 990 m³ y un volumen total de 1 185 m³ (Cuadro No. 5).

Cuadro No. 5. Estanques y capacidad hídrica disponible en el módulo de engorde

No. de piletas disponibles	No. de piletas habilitadas	Diámetro (m)	Volumen por pileta (m ³)	Volumen útil por pileta (m ³)	Volumen total (m ³)	Volumen útil total módulo (m ³)
15	10	10	79	66	1185	990

Fuente: Trabajo de campo, 2013.

5.2.2 módulo de reproducción

El módulo de reproducción cuenta con una batería de doce estanques revestidos de concreto, con unas dimensiones de veinte metros de largo, diez de ancho y una altura en su punto medio de un metro. Cada estanque cuenta con 200 m³ de volumen total y un volumen útil de 200 m³. El módulo cuenta con un volumen útil total de 2 240 m³ (Cuadro No. 6).

Cuadro No. 6. Estanques y capacidad hídrica disponible en el módulo de reproducción

No. de estanques disponibles	No. de estanques habilitados	Dimensiones (m)	Volumen por estanque (m ³)	Volumen útil por estanque (m ³)	Volumen total (m ³)	Volumen útil total (m ³)
12	12	20 x 10 x 1	200	200	2400	2440

Fuente: Trabajo de campo, 2013.

5.2.3 Módulo de reversión sexual

El módulo de reversión sexual cuenta con una batería de 28 piletas circulares de concreto de cinco metros de diámetro, cada estanque cuenta con una capacidad hídrica de 20 m³ lo que estima un volumen total útil en el módulo de 476 m³ (Cuadro No. 7).

Se distribuyen 20 piletas para el caudal No. 1 y 8 piletas para el caudal No. 2. Cabe recalcar que el manejo y uso de las piletas depende de la producción de alevín en el módulo reproductivo; durante el periodo de evaluación se destinaron piletas de esta área para repoblamiento o engorde según el manejo administrativo y disponibilidad de la semilla para iniciar tratamiento de reversión.

Cuadro No. 7. Piletas y capacidad hídrica disponible en el módulo de reversión sexual

No. de piletas disponibles	No. de piletas habilitadas	Diámetro (m)	Volumen por pileta (m ³)	Volumen útil por pileta (m ³)	Volumen total (m ³)	Volumen útil total módulo (m ³)
20	20	5	20	17	400	340
8	8	5	20	17	160	136

Fuente: Trabajo de campo, 2013.

5.2.4 Módulo de repoblamiento

Las piletas destinadas para el módulo de repoblamiento cuentan con diez metros de diámetro lo que genera una capacidad hídrica de 79 m³ y un volumen útil de 66 m³, obteniendo un volumen total disponible para cultivo de 396 m³, tomando en cuenta los seis estanques en el área.

Este módulo durante el periodo de evaluación se encontró deshabilitado y fueron destinadas para este objetivo productivo un número de piletas en el área de reversión sexual determinado por el encargado, en relación a la disponibilidad del alevín (Cuadro No. 8).

Cuadro No. 8. Piletas y capacidad hídrica disponible en el módulo de repoblamiento

No. de piletas disponibles	No. de piletas habilitadas	Diámetro (m)	Volumen por pileta (m ³)	Volumen útil por pileta (m ³)	Volumen total (m ³)	Volumen útil total módulo (m ³)
6	0	10	79	66	474	396

Fuente: Trabajo de campo, 2013.

5.2.5 Módulo de exhibición

El módulo de exhibición cuenta con 16 piletas circulares de cinco metros de diámetro. Se calculó el área de las piletas y se obtuvo el volumen por pileta de 20 m³ y un volumen útil de 17 m³. Se estimó una capacidad útil dentro de este módulo de 286 m³ (Cuadro No. 9).

Cuadro No. 9. Piletas y capacidad hídrica disponible en el módulo de exhibición

No. de piletas circulares disponibles	No. de piletas habilitadas	Diámetro (m)	Volumen por pileta (m ³)	Volumen útil por pileta (m ³)	Volumen total (m ³)	Volumen útil total módulo (m ³)
16	16	5	20	17	320	286

Fuente: Trabajo de campo, 2013.

Las piletas rectangulares en el módulo de exhibición reflejaron un total de 18 m³ en su capacidad total y un volumen útil de 14 m³ (Cuadro No. 10).

Cuadro No. 10. Piletas y capacidad hídrica disponible en el módulo de exhibición

No. de estanques disponibles	No. de estanques habilitados	Dimensiones (m)	Volumen por pileta (m ³)	Volumen útil por pileta (m ³)	Volumen total (m ³)	Volumen útil total módulo (m ³)
6 piletas rectangulares	0	2 x 1.5 x 1	3	2.4	18	14

Fuente: Trabajo de campo, 2013.

El módulo de exhibición cuenta con un volumen total de 338 m³ y un volumen útil total de 270 m³.

5.2.6 Módulo de ensayos e investigación

El módulo de ensayos e investigación no fue utilizado durante el ciclo 2013 para su objetivo, sin embargo se destinaron algunas piletas para ciclos de engorde. El área de piletas circulares posee una capacidad hídrica de 210 m³ de vida útil y un volumen total de 256 m³ (Cuadro No. 11).

Cuadro No. 11. Piletas y capacidad hídrica disponible
en el módulo de ensayos e investigación

No. de piletas circulares disponibles	No. de piletas habilitadas	Diámetro (m)	Volumen por pileta (m ³)	Volumen útil por pileta (m ³)	Volumen total (m ³)	Volumen útil total módulo (m ³)
2	0	10	79	66	158	126
14	4	3	7	6	98	84

Fuente: Trabajo de campo, 2013.

El área de piletas rectangulares, fue utilizado para soportar peces en engorde y cuenta con una capacidad hídrica útil en este componente de a 207 m³ (Cuadro No. 12).

Cuadro No. 12. Estanques y capacidad hídrica disponible
en el módulo de ensayos e investigación

No. de estanques disponibles	No. de estanques habilitados	Dimensiones (m)	Volumen por pileta (m ³)	Volumen útil por pileta (m ³)	Volumen total (m ³)	Volumen útil total módulo (m ³)
16	6	1 x 3.5 x 2	7	6	112	95
4	0	1 x 4 x 2	8	7	128	112

Fuente: Trabajo de campo, 2013.

5.3 Evaluación de parámetros físico – químicos

5.3.1 Transparencia

La transparencia promedio del agua durante el periodo de evaluación fue de 51.5 cm (Anexo No.3). El módulo de reproducción presento una transparencia media menor a la de los otros módulos evaluados (30.4 cm), este comportamiento se repitió durante todo el periodo de evaluación. La transparencia mínima se observó en el mes de junio en el módulo de reproducción fue de 24 cm y la máxima en el mes de junio en el módulo de repoblamiento 70 cm (Figura No. 8).

La transparencia observada en los distintos módulos se encuentra dentro de los rangos mínimos permisibles para acuicultura de tilapia los cuales oscilan entre 15 y 30 cm. (Franco, 2013). Debido a manejo administrativo el módulo de reversión sexual no fue evaluado durante el mes de junio, por no encontrarse en funcionamiento.

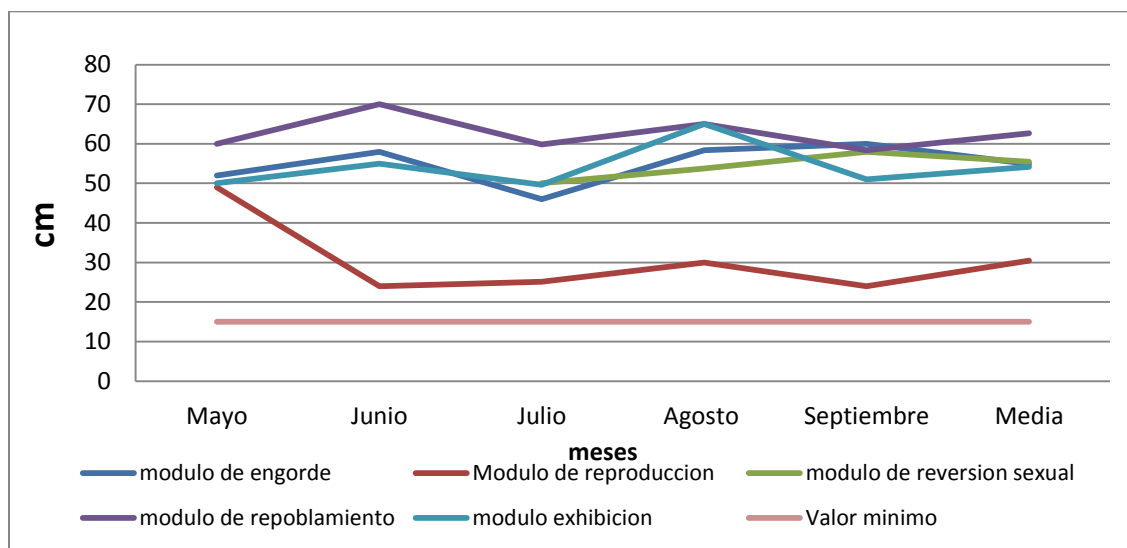


Figura No. 8. Comportamiento de transparencia en los puntos de muestreo, de mayo a septiembre del 2013 (Trabajo de campo, 2013)

5.3.2 Temperatura

El rango de temperaturas observado fue de 22.7° a 28.3 °C. La temperatura promedio del agua para los módulos productivos durante el periodo evaluado fue de 25.9 ± 0.74 °C. El módulo productivo que presento una temperatura mínima ligeramente menor a los otros fue

el de reversión sexual con una media de 23.7°C en el mes mayo. Este módulo refleja una media de 25.4 ± 1.48 °C, lo que provocaría algún retraso en el crecimiento por bajas temperaturas a la línea genética de tilapia gris.

La temperatura máxima observada fue en el módulo de reproducción con una media de 28.3°C en el mes de abril y una media total de 27.3 ± 0.64 °C, los datos se relacionas a que el tiempo de retención de agua en dicho módulo es mayor, por lo que la captación de calor aumenta. Este módulo cuenta con una temperatura media ideal para el cultivo y producción de alevín de tilapia de la variedad gris.

El comportamiento de la temperatura es constante en todos los módulos evaluados durante todo el periodo de investigación. La máxima variación entre un muestreo y otro es de un incremento de 2.9 °C entre los meses de julio y agosto en el módulo de reversión sexual (Figura No. 9).

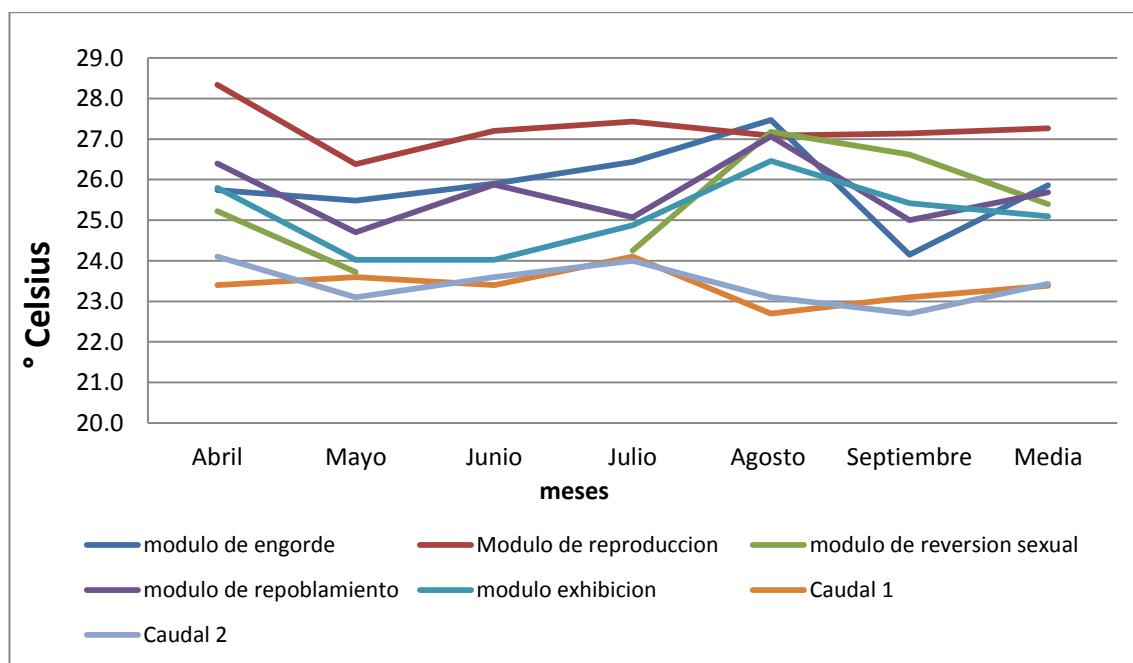


Figura No. 9. Comportamiento de la temperatura en los puntos de muestreo, de los meses de abril a septiembre del 2013 (Trabajo de campo, 2013)

Los caudales que distribuyen de presentaron las temperaturas más bajas durante toda la evaluación con una media de 23.4 ± 0.46 °C, (Cuadro No. 13) se infiere que debido a que el

tiempo de circulación de las aguas es mínima, la captura de calor es menor en comparación a otros módulos.

Los valores óptimos para el cultivo de tilapia se encuentran entre 25°C y 29°C, por lo que este factor dentro de los módulos productivos se encuentra entre el rango mínimo permisible para el cultivo de tilapia. La producción de alevín de tilapia blanca es la recomendada para tolerar los rangos mínimos de temperatura que se presentan en los módulos y así obtener mejores rendimientos productivos (Misión Técnica de Taiwán, 2011).

Durante el mes de junio no fue posible evaluar el módulo de reversión sexual, debido a manejo administrativo productivo se mantuvo el área inhabilitada.

Cuadro No. 13. Valores de temperatura en grados °C

Componentes del sistema hídrico por mes en Caudal/Módulos	abril	mayo	junio	julio	agosto	sept.	Media	D.E
Caudal 1	23.4	23.6	23.4	24.1	22.7	23.1	23.4	0.47
Caudal 2	24.1	23.1	23.6	24.0	23.1	22.7	23.4	0.56
<i>Media por mes</i>	23.8	23.4	23.5	24.1	22.9	22.9	23.4	0.46
<i>Desviación Estándar</i>	0.49	0.35	0.14	0.07	0.28	0.28	-	-
Módulo de engorde	25.7	25.5	25.9	26.4	27.5	24.2	25.9	1.09
Módulo de reproducción	28.3	26.4	27.2	27.4	27.1	27.1	27.3	0.64
Módulo de reversión sexual	25.2	23.7		24.3	27.2	26.6	25.4	1.48
Módulo de repoblamiento	26.4	24.7	25.9	25.1	27.1	25.0	25.7	0.92
Módulo exhibición	25.8	24.0	24.0	24.9	26.5	25.4	25.1	0.98
<i>Media por mes</i>	26.3	24.9	25.7	25.6	27.0	25.7	25.9	0.74
<i>Desviación Estándar</i>	1.21	1.09	1.31	1.29	0.37	1.21	-	-

Fuente: Trabajo de campo, 2013.

5.3.3 Oxígeno disuelto

El oxígeno promedio durante el periodo de evaluación fue de 7.6 ± 0.3 mg/L en las fuentes de abastecimiento y de 9.6 ± 1.4 mg/L para los módulos productivos, los rangos en los valores de oxígeno disponible varían de 4.1 mg/L a 18.9 mg/L (Cuadro No.14). Se puede observar que los valores de oxígeno disuelto en el medio, proveniente de los caudales de abastecimiento no presentan mayores variaciones durante el estudio y los movimientos en los rangos se dan en los módulos productivos, esto en relación a la productividad primaria y el tiempo de retención del agua en el sistema.

Podemos observar como los valores de concentración de oxígeno disuelto en el medio van disminuyendo levemente conforme se avanza en el año, posiblemente sea debido a la cantidad de nubes que bloquean los rayos solares que promueven fotosíntesis en el agua (Figura No. 10).

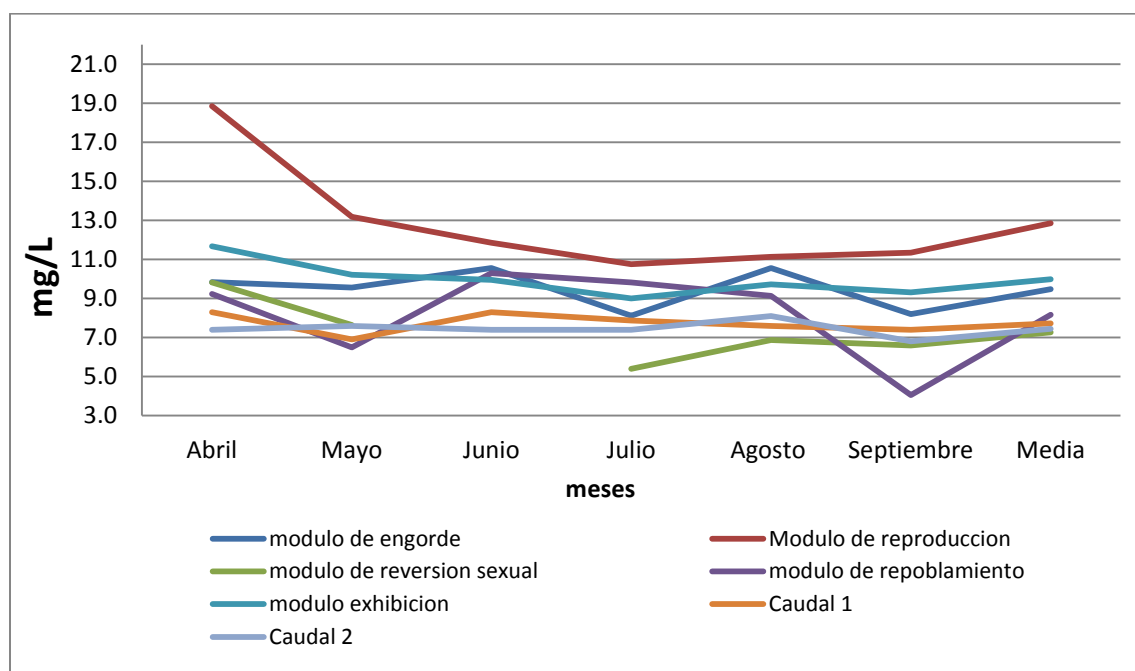


Figura No. 10. Comportamiento del oxígeno disuelto, meses de abril a septiembre del 2013 (Trabajo de campo, 2013)

El mes de septiembre presento los rangos más bajos siendo el módulo de repoblamiento el menor con 4.1 mg/L debido al poco movimiento que se le da a las aguas en ese módulo y la cantidad de nubes que impiden la entrada de luz solar al medio.

Durante el periodo de evaluación, se observa que la media más baja y constante se presenta en el módulo de reversión sexual 7.3 mg/L (Cuadro No.14), debido a su importancia productiva se destina el mayor volumen de agua para recambios del 100% diario, este flujo impide la acumulación de productividad primaria, que influye directamente en la concentración de oxígeno y se mantiene cerca de los rangos obtenidos en los caudales de abastecimiento (7.6 mg/L).

El mes de abril, en el módulo de reproducción se cuantifico la mayor concentración de oxígeno disuelto en el medio 18.9 mg/L, debido a la alta cantidad de horas luz/día al ser época de transición seco-lluvioso y la alta concentración de productividad primaria en los estanques, que aumenta la disponibilidad de este metabolito durante el día. Se obtuvo una D.E de ± 3.1 mg/L en este módulo (Cuadro No.13).

Cuadro No. 14. Resultado de valores de Oxígeno Disuelto en mg/L.

Componentes del sistema hídrico por mes en Caudal/Módulos	abril	mayo	junio	julio	agosto	sept.	Media	D.E
Caudal 1	8.3	6.9	8.3	7.9	7.6	7.4	7.7	0.5
Caudal 2	7.4	7.6	7.4	7.4	8.1	6.8	7.5	0.4
<i>Media por mes</i>	7.9	7.3	7.9	7.6	7.9	7.1	7.6	0.3
<i>Desviación Estándar</i>	0.6	0.5	0.6	0.3	0.4	0.4	-	-
Módulo de engorde	9.8	9.6	10.6	8.1	10.6	8.2	9.5	1.1
Módulo de reproducción	18.9	13.2	11.9	10.8	11.1	11.3	12.9	3.1
Módulo de reversión sexual	9.8	7.6		5.4	6.9	6.6	7.3	1.6
Módulo de repoblamiento	9.2	6.5	10.3	9.8	9.1	4.1	8.2	2.4
Módulo exhibición	11.7	10.2	10.0	9.0	9.7	9.3	10.0	0.9
<i>Media por mes</i>	11.9	9.4	10.7	8.6	9.5	7.9	9.6	1.4
<i>Desviación Estándar</i>	4.0	2.6	0.8	2.0	1.6	2.8	-	-

Fuente: Trabajo de campo 2013.

A lo largo de la evaluación se presenta una oscilación leve en los resultados, los cuales no influyen en el proceso de producción de alevín o engorde. Para usos acuícolas y los objetivos de producción del centro, el promedio del oxígeno disponible en el componente es apto para acuicultura y cumple con el requerimiento biológico de la especie en cultivo. Según (Lovitch, 1967) los rangos mínimos permisibles para tilapia van de 2.0mg/L a 6.4mg/L, valores por debajo de este rango provocan estrés, repercutiendo en el crecimiento de los organismos.

5.3.4 Conductividad eléctrica

La conductividad en medios líquidos está relacionada con la presencia de sales en solución, cuya disociación genera iones positivos y negativos capaces de transportar energía eléctrica. La medición de la conductividad nos permite tener una idea muy aproximada de la cantidad de sales disueltas en el medio.

Se observa el rango de mayor conductividad en el módulo de reproducción con una media de $162.9 \pm 44.4 \mu\text{S/cm}$, una alta concentración de materia orgánica, a raíz de la acumulación de iones presentes en el alimento administrado en el módulo que causan eutrofización, principal causante de este valor (Anexo No.5). El módulo productivo con los valores bajos fue el de reversión sexual durante la evaluación, con una media al final del estudio en $82.9 \pm 39.4 \mu\text{S/cm}$, esto responde a los altos recambios de agua que recibe este módulo impide el incremento de materia orgánica dentro del sistema. Las fuentes de abastecimiento presentan niveles de conductividad bajos con una media de $75.6 \pm 12.5 \mu\text{S/cm}$ al final de la evaluación.

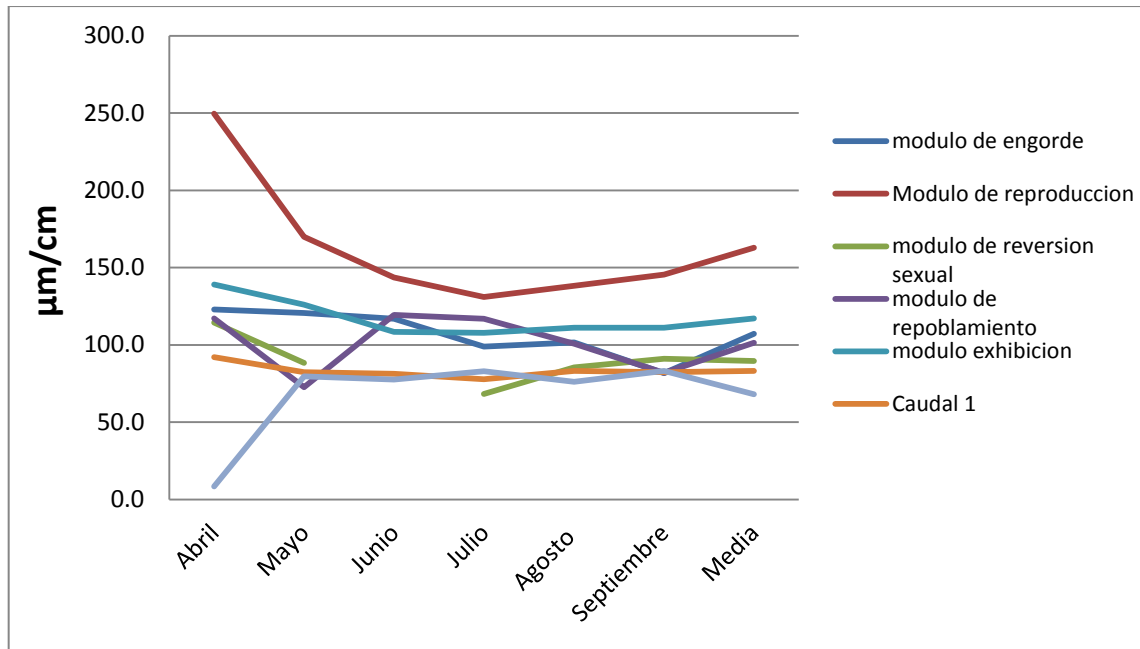


Figura No. 11. Comportamiento de la conductividad, meses de abril a septiembre del 2013 (Trabajo de campo, 2013)

3.3.5 pH

El comportamiento promedio durante el análisis de pH fue de 7.2 (Anexo No.7), los rangos mínimos son de 6.5 y el máximo de 7.5; en el módulo de exhibición se mantuvo el valor de 7.0 durante todo el periodo evaluado y el módulo que presentó mayor variación (1.0) fue el de reproducción entre los meses de mayo y julio. El área de reversión sexual no pudo ser evaluada el mes de junio debido a manejo administrativo, se mantuvo el área cerrada.

Los valores máximos permisibles para cultivo de tilapia son de 6.5 a 8.5, lo que indica que la tendencia en el transcurso de la evaluación se encuentra en los niveles aceptables para las variedades que se trabajan en el centro (Lovitch, 1967).

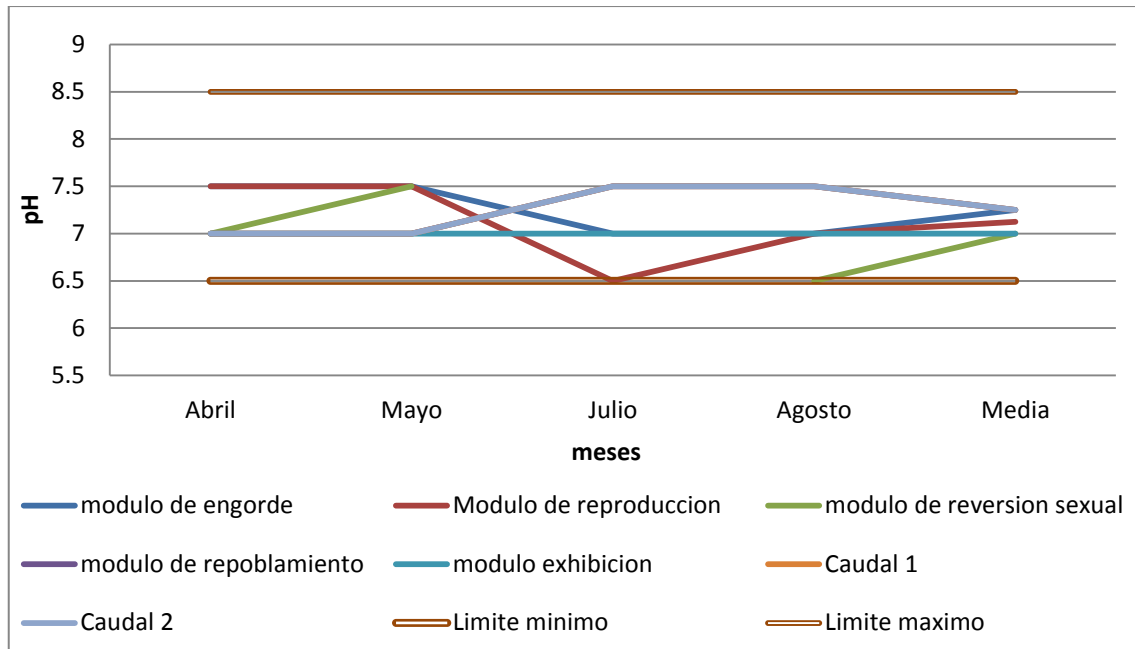


Figura No. 12. Comportamiento del pH meses de abril a septiembre del 2013 (Trabajo de campo, 2013)

5.3.6 Demanda química de oxígeno DQO

El comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno indica estabilidad en la demanda de este componente. Durante la evaluación, se observó un incremento en el módulo de engorde entre los meses de mayo a julio 124 mg/L a 212 mg/L, y se debe a un traslado de organismos a diferente sector, con piletas de menor volumen y mayor densidad de peces. Se obtuvo una media de 173.3 ± 45 mg/L (Anexo No. 8).

El módulo de reproducción, que es el que mayor concentración de productividad primaria reflejo una media en la demanda química de oxígeno igual a 208 ± 10 mg/L. El módulo de reversión, al ser evaluado solamente dos veces presento un valor de 125 ± 32.5 mg/L, siendo este sector el de mayor recambio de agua. Las fuentes que abastecen el centro poseen una demanda media de 101.7 ± 19.3 mg/L.

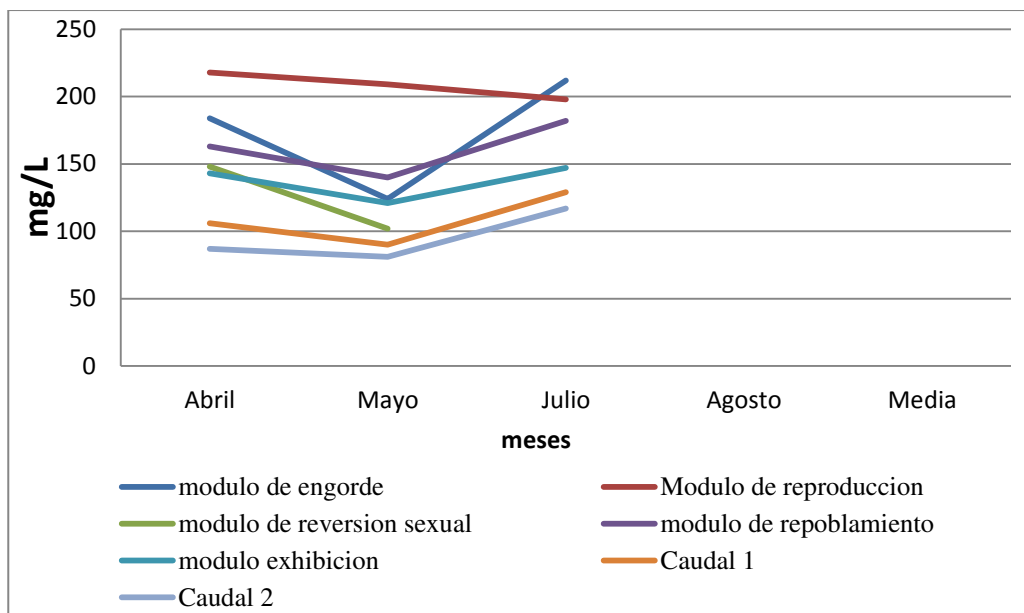


Figura No. 13. Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno DQO, meses de abril a agosto del 2013 (Trabajo de campo 2013)

5.3.7 Nitritos NO₂⁻

El comportamiento de los nitritos NO₂⁻ en la evaluación indican que el promedio de concentración es de 0.09 ± 0.0373 mg/L para las fuentes de abastecimiento (Anexo No. 10). En los módulos productivos el valor máximo identificado fue 0.19 mg/L para el módulo de repoblamiento en el mes de abril, mientras que el valor mínimo fue de 0.05mg/L en el área de reproducción durante el mes de julio (Figura No. 14). Durante el mes de agosto, los caudales presentaron los rangos más elevados con 0.14 ± 0.0283 mg/L, causado en su mayoría de la escorrentía por el flujo pluvial característico de ese mes.

La estabilidad de este nutriente en las fuentes que abastecen y dentro de los módulos es de importancia debido a la problemática que presentarían resultados fuera de los parámetros de referencia. Es por ello que se establece en 1.0 mg/L como límite máximo para este metabolito, valores por arriba del límite pueden hacer susceptibles a enfermedades a los organismos (Lovitch, 1967). El mes de julio no se evaluó el módulo de reversión sexual, por manejo administrativo se encontró fuera de funcionamiento.

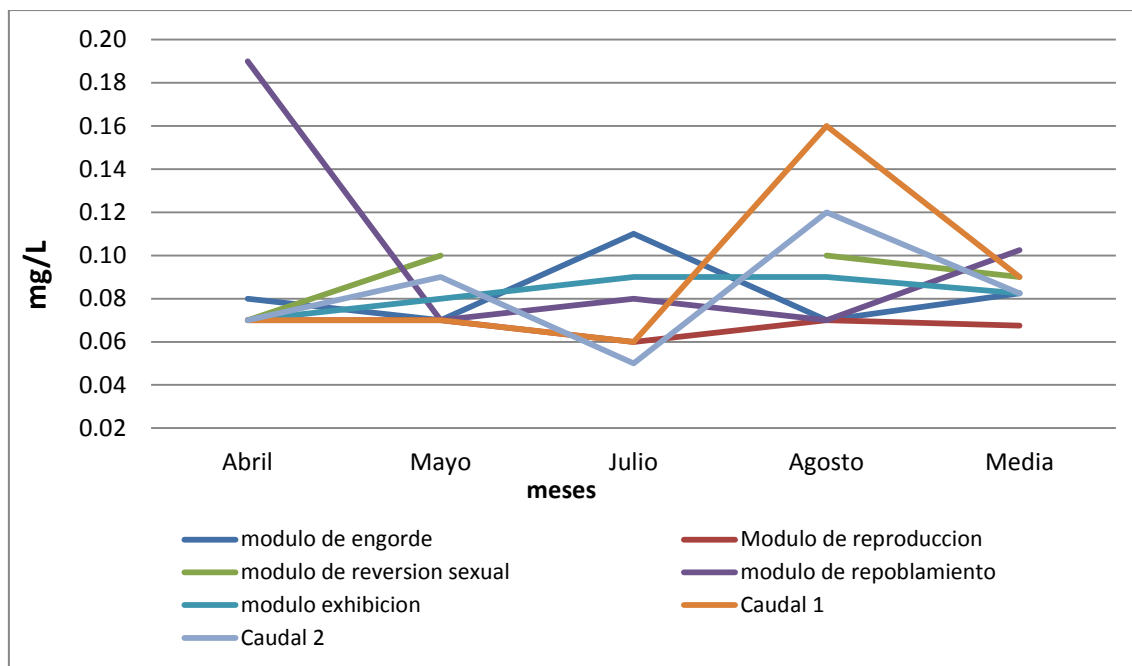


Figura No. 14. Comportamiento de Nitritos NO_2^- meses de abril a septiembre del 2013 (Trabajo de campo, 2013)

5.3.8 Nitratos NO_3^-

Los resultados de Nitratos NO_3^- tomando en cuenta los diferentes módulos productivos y las fuentes de abastecimiento, se encontraron fuera de los rangos máximos permisibles para uso acuícola en toda la época de la evaluación, teniendo un promedio de 5.5 ± 1.28 mg/L en los caudales de abastecimiento y de 3.6 ± 0.46 mg/L dentro de los módulos productivos (Anexo No. 9).

En el mes de abril se observa que en las dos fuentes de abastecimiento en el centro poseen una concentración media de este metabolito de 6 mg/L para el Caudal No. 1 y de 6.9 mg/L para el caudal No. 2 con una media de 6.5 ± 0.64 mg/L (Figura No. 15). El Caudal No. 2 sufrió un incremento significativo en el mes de julio llegando a 7.1 mg/L, siendo este mes y punto el que reflejo el valor más alto durante el estudio. Para el módulo de reversión sexual, se observó un incremento de 0.6 mg/L, entre los meses de abril y mayo y disminuyó en 4.1 mg/L para el mes de agosto, produciendo una media de 4.7 ± 2.16 mg/L al final del estudio.

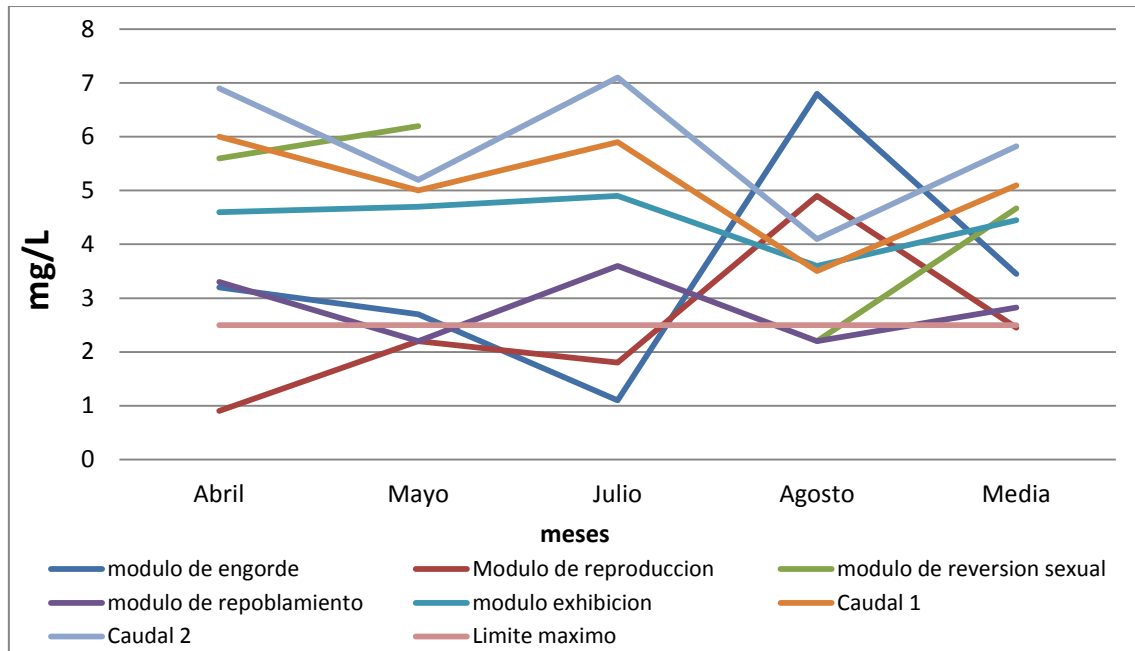


Figura No. 15. Comportamiento de Nitritos NO_3^- en los puntos de muestreo, de los meses de abril a septiembre del 2013 (Trabajo de campo, 2013)

Durante el mes agosto se observa un aumento significativo en el módulo de engorde teniendo un valor de 1.1 mg/L en el mes de julio se incrementó a 6.8 mg/L en agosto, teniendo una media de 3.5 ± 2.41 mg/L. Estos incrementos en los puntos de muestreo pueden ser causados por los fertilizantes de uso agrícola que son aplicados con frecuencia en las áreas cercanas a la finca y dentro de la finca, los cuales debido a la escorrentía afectan el comportamiento natural de este tipo de parámetros en el cuerpo de agua. Durante el mes de julio no se evaluó el módulo de reversión sexual debido a la falta en disponibilidad de alimento.

Cabe resaltar que de acuerdo a los resultados obtenidos dentro de la evaluación, para la producción de organismos de interés comercial dentro de la granja, pueden llegar a ser perjudiciales e incluso mortales si se combinan con otros parámetros que también se encuentren fuera del rango máximo permisible, para Nitratos NO_3^- los valores máximos permisibles van de 1.5 mg/L a 2.5 mg/L para el cultivo de tilapia (Lovitch, 1967).

5.3.9 Fosfatos PO_4^{-3}

Las fuentes de abastecimiento del Centro de Producción y Capacitación Acuícola Sabana Grande, conforme a los resultados obtenidos en la evaluación, presentan niveles de Fosfatos PO_4^{-3} con una media de 0.41 ± 0.1315 mg/L (Anexo No.11). Para las aguas de los efluentes en los módulos productivos se obtuvo una media de 0.30 ± 0.0695 mg/L.

Durante el mes de agosto en el Caudal No.1 se observó un aumento significativo de fosfatos teniendo un mínimo en el mes de Julio con 0.30 mg/L, y como rango máximo 1.0 mg/L en agosto, esto debido a la influencia de las lluvias las cuales por escorrentía dan un aporte de desechos urbanos, agrícolas y en especial polifosfatos contenidos en detergentes, los cuales dejan como resultado un incremento de fósforo en los cuerpos de agua, sin embargo se encuentran dentro del rango de tolerancia para cultivos acuícolas aceptables de 0.15 mg/L a 1.0mg/L (Lovitch, 1967).

Las lecturas en los módulos productivos indican que el área de reproducción presenta una media de 0.50 ± 0.2000 mg/L. El módulo de engorde una media de 30 ± 0.1414 mg/L, y el área de reversión sexual reflejo una media de 0.27 ± 0.1155 mg/L (Figura No. 16).

Al observar la tendencia de los resultados, se puede mencionar que en los meses evaluados (abril / agosto), los límites inferiores y superiores permisibles no fueron sobrepasados, reflejando estabilidad dentro de los módulos productivos y las fuentes de abastecimiento.

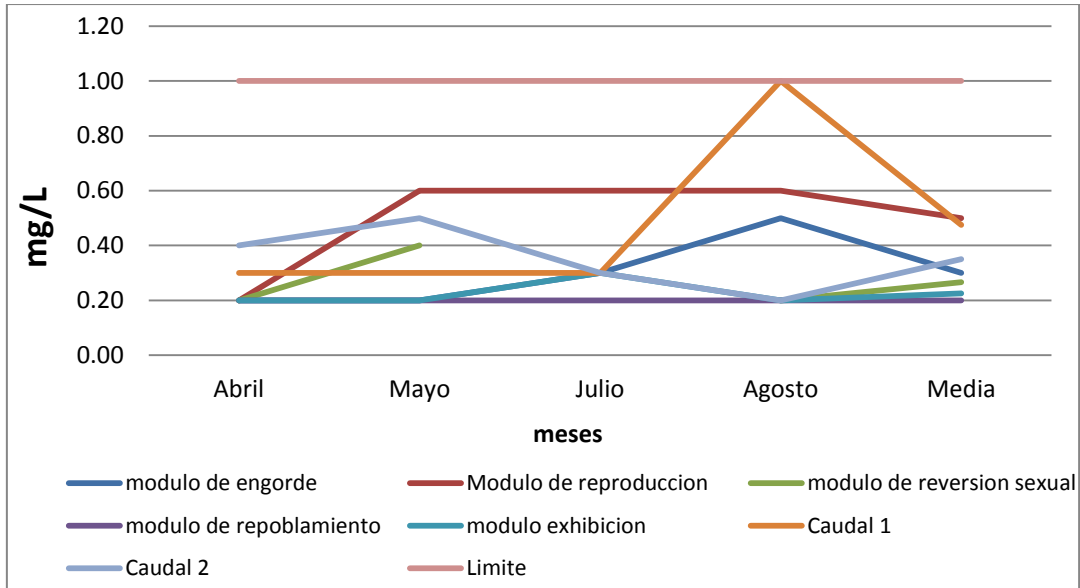


Figura No. 16. Comportamiento de Fosfatos PO_4^{-3} en los puntos de muestreo, de los meses de abril a agosto del 2013 (Trabajo de campo, 2013)

3.3.9 Amonio NH_4^+

La cantidad de amonio en las fuentes que abastecen el Centro de Producción y Capacitación Acuícola Sabana Grande, durante el periodo que comprenden los meses de época seca abril-mayo y los correspondientes a la época lluviosa julio-agosto, presentaron una media de 0.06 ± 0.0100 mg/L y de igual manera 0.06 ± 0.0137 mg/L para los módulos productivos (Anexo No. 12). Durante el mes de mayo hubo un incremento en el módulo de reproducción y reversión sexual de 0.02 mg/L, lo que genero un valor de 0.8 mg/L. El sector de engorde reflejo el valor más bajo con 0.01 mg/L durante el mes de transición mayo (Figura No. 17).

En el mes de agosto el módulo de repoblamiento reporto 0.11 mg/L, que fue el valor más alto en el periodo evaluado y puede darse debido a la falta de recambios en el volumen de agua durante el periodo evaluado. Sin embargo, se mantienen por debajo del límite máximo permisible que es de 0.50 mg/L (Lovitch, 1967), lo cual es positivo ya que valores elevados pueden causar daños en órganos internos y por consecuencia mortalidad.

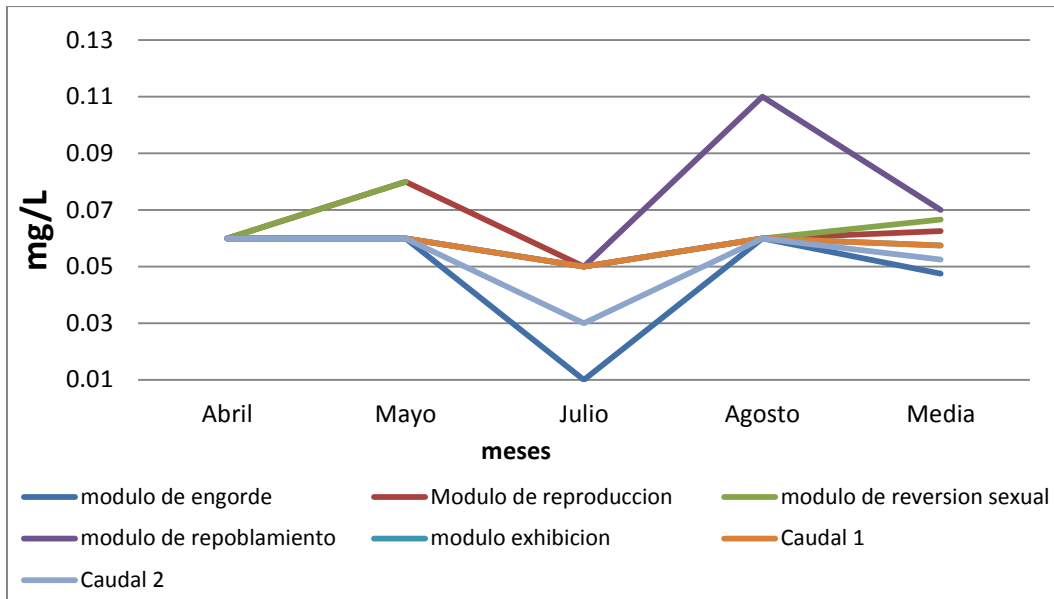


Figura No. 17. Comportamiento de Amonio NH_4^+ en los puntos de muestreo, de los meses de abril a agosto del 2013 (Trabajo de campo, 2013)

5.4 Propuesta de manejo y distribución del agua

5.4.1 Demanda hídrica y caudal por módulo productivo

Se estimaron los valores para cada módulo productivo, y el requerimiento hídrico para mantener en un 100% la funcionalidad operativa del sistema. Cada sector requiere de caudal disponible para cumplir esta demanda, determinada por el volumen ó capacidad hídrica que requiere cada componente acuícola.

Se observa en el cuadro No.15, que en relación al volumen vivo en el módulo de engorde (990 m^3), este ocupa un 20% del volumen total de todo el sistema y le corresponde en respuesta a ese porcentaje un caudal de 21 L/s ó $75 \text{ m}^3/\text{h}$. Este valor indica que se requieren 13.1 horas para realizar un recambio del 100% en el componente de engorde y se pueden realizar 1.8 recambios en un periodo de 24 horas, con una entrada de agua correspondiente al porcentaje del caudal, valorado en relación a la demanda de volumen vivo en el sistema (Cuadro No. 15).

Cuadro No. 15. Módulos productivos con volumen y caudal potencial correspondiente

Nombre del módulo productivo	Volumen vivo m ³	% Demanda Hídrica actual	Q demanda actual L/s	Q m ³ /h actual	Tiempo para 100% recambio (hrs)	Número de recambios diarios
Módulo de engorde	990	20	21	75	13.1	1.8
Módulo de reproducción	2 440	48	50	182	13.1	1.8
Módulo de reversión sexual 1	340	7	7	26	13.1	1.8
Módulo de reversión sexual 2	136	3	3	10	13.1	1.8
Módulo de repoblamiento	396	8	8	30	13.1	1.8
Módulo de exhibición	286	6	6	22	13.1	1.8
Módulo de ensayos e investigación	417	8	9	32	13.1	1.8
<i>TODOS LOS COMPONENTES</i>	<i>4 965</i>	<i>100</i>	<i>104</i>	<i>377</i>		

Fuente: Trabajo de campo, 2013.

5.4.2 Propuesta de distribución de caudal

Debido a que es poco realizable mantener un funcionamiento, el modelo de simulación permite distribuir racionalmente, estimando un valor de prioridad al componente hídrico del módulo en evaluación. En el ejercicio a continuación maneja el sistema con un 77% de eficiencia, lo que mantiene un flujo constante de rendimiento sostenible. Se sugiere de acuerdo a la importancia económica del sector de engorde, un aforo del 40% del caudal, lo que genera un movimiento de 70 L/s ó 151 m³/h, permitiendo un recambio del 100% cada 6.6 horas con la capacidad de realizar 3.6 recambios diarios en todo el módulo.

Con la finalidad de mantener la energía calórica dentro el medio, no se recomiendan recambios mayores del 50% diario por lo que se pueden adecuar los valores en el modelo matemático de simulación, para estimar un flujo menor (Cuadro No. 16).

Para el área de reproducción no son necesarios mayores recambios, debido a que se requiere mantener la energía calórica dentro del medio de forma constante, por lo que el tiempo de retención en el sistema debe ser mayor para sostener y captar más calor. Se sugiere un 12% del volumen del caudal, lo que representa 13 L/s o 45 m³/h, realizando un recambio del 100% en el módulo cada 53.1 horas para un total de 0.45 recambios diarios.

Cuadro No. 16. Módulos productivos con caudal sugerido y tiempos de recambio

Nombre del módulo productivo	Volumen vivo m ³	% demanda hídrica sugerida	Q demanda sugerida L/s	Q m ³ /h sugerido	Tiempo 100% recambio (hrs)	No. recambios diarios
Módulo de engorde	990	40	70	151	6.6	3.65
Módulo de reproducción	2440	12	17	45	53.1	0.45
Módulo de reversión sexual 1	340	6	14	23	15	1.6
Módulo de reversión sexual 2	136	2	6	8	18	1.3
Módulo de repoblamiento	396	3	4	11	35	0.7
Módulo de exhibición	286	6	4	23	12.6	1.9
Módulo de ensayos e investigación	417	8	3	30	13.8	1.7
<i>TODOS LOS COMPONENTES</i>	<i>4 965</i>	<i>77</i>	<i>104</i>	<i>290</i>		

Fuente: Trabajo de campo, 2013.

Se puede observar en el cuadro anterior, que la proporción de caudal total dirigido a producción es del 77% con un flujo continuo en todo el sistema, lo cual permite racionar el agua maximizando su uso al orientar el recurso al criterio y objetivo de producción de la administración.

5.4.3 Biomasa y capacidad de carga

Se determinó la cantidad de oxígeno disponible en el caudal, mediante la resta del oxígeno disponible en el caudal (7.6 mg/L) y los requerimientos mínimos de la especie la cual es la tolerancia mínima que evita generar estrés que afecte el crecimiento (4.0 mg/L)⁷. Se obtuvo un resultado de 3.6 mg/L/s de oxígeno disponible para producción. Para el cálculo de la tasa de consumo de oxígeno se utilizó un peso final de 250g/pez.

Para determinar la biomasa (kg) que el componente acuícola soporta, partimos de la siguiente fórmula y despejamos ⁸ (Jover, 2003):

$$Q = \frac{B \text{ (kg)} \times Tc \text{ (mg/kg/h)}}{Od \text{ (mg/l)}}$$

Se determinó que el módulo de engorde con un caudal aforado a 21 L/s, una tasa de consumo de 101.8 mg O₂/kg/h, el sistema es capaz de producir 2.7 toneladas métricas por ciclo, y todo el sistema en su totalidad 13.3 toneladas métricas, manteniendo la capacidad de carga en relación a la disponibilidad y calidad del recurso hídrico en 35.36 kg/m³/h (Cuadro No. 17).

⁷ Franco Cabrera, L. F. (2013, marzo). *Biomasa y capacidad de carga* [entrevista]. Guatemala: CEMA de la USAC.

⁸ Ver *Marco Metodológico*. Pag.18

Cuadro No. 17. Componentes acuícolas, con capacidad de carga “máxima”
estimada según caudal y oxígeno disponible

Nombre de módulo productivo	Q demanda actual L/s	Oxígeno producción	Tasa de consumo O ₂ mg/kg/h	Biomasa T _m	Biomasa kg	Capacidad carga kg/m ³
Módulo de engorde	21	3.6	101.8	2.7	2 657	35.36
Módulo de reproducción	50	3.6	101.8	6.4	6 440	35.36
Módulo de reversión sexual 1	7	3.6	101.8	0.9	912	35.36
Módulo de reversión sexual 2	3	3.6	101.8	0.4	365	35.36
Módulo de repoblamiento	8	3.6	101.8	1.1	1 063	35.36
Módulo de exhibición	6	3.6	101.8	0.8	767	35.36
Módulo de ensayos e investigación	9	3.6	101.8	1.1	1 119	35.36
TODOS LOS COMPONENTES	<i>377</i>	<i>3.6</i>	<i>101.8</i>	<i>13.3</i>	<i>13 329</i>	<i>35.36</i>

Fuente: Trabajo de campo, 2013.

Para obtener la capacidad de carga “mínima”, se utilizó la tasa de consumo que se obtuvo con la fórmula proveniente para trucha por Boyd, (1979), sumada a la tasa de consumo propuesta por Galvis y Asociados, (2005), que para tilapia es de 28 °C en 168 mg de O₂/kg/h.

Los resultados obtenidos con la tasa de consumo en el modelo de simulación es un resultado preliminar que debe ser calibrado por las variaciones que se da en las temperaturas de los caudales del centro monitoreado, con el valor representativo del metabolismo de la tilapia, es necesario el valor $-k-$ para tasa de consumo en tilapia y ajustar la fórmula existente (Boyd, 1979).

En el Cuadro a continuación (No. 18) se utiliza para la simulación el peso promedio final de 250g/pez. El sistema aporta 3.6 mg de oxígeno residual libres para maximizar la

producción, utilizando una tasa de consumo máxima de 267.02 mg de O₂/kg/h el cual proviene de Demanda Química de Oxígeno + Estimación (Galvis, 2005); un caudal en 377 m³/h en todo el sistema, se estima la capacidad de carga mínima en 13.5 kg/m³.

Cuadro No. 18. Componentes acuícolas, con capacidad de carga “mínima”
estimada según caudal y oxígeno disponible

Nombre de módulo productivo	Caudal actual m ³ /h	Oxígeno producción	Tasa de consumo O ₂ mg/kg/h	Biomasa Tm	Biomasa kg	Capacidad de carga mínima
Módulo de engorde	75	3.6	267.02	1.0	1 013	13.5
Módulo de reproducción	182	3.6	267.02	2.5	2 456	13.5
Módulo de reversión sexual 1	26	3.6	267.02	0.3	348	13.5
Módulo de reversión sexual 2	10	3.6	267.02	0.1	139	13.5
Módulo de repoblamiento	30	3.6	267.02	0.4	405	13.5
Módulo de exhibición	22	3.6	267.02	0.3	293	13.5
Módulo de ensayos e investigación	32	3.6	267.02	0.4	427	13.5
TODOS LOS COMPONENTES	377	3.6	267.02	13.3	5 082	13.5

Fuente: Trabajo de campo, 2013.

6. CONCLUSIONES

- El caudal No.1 proveniente del río Mongoy cuenta con un volumen medio de 43.0 ± 18.6 L/s. El Caudal No.2 que se origina en el río Cometa genera un volumen hídrico de 61.7 ± 37.0 L/s. Se estima que el volumen total aproximado del potencial hídrico para el centro en 104.7 L/s.
- Capacidad hídrica de los componentes acuícolas: módulo de engorde 990 m^3 ; módulo de reproducción 2440 m^3 ; módulo de reversión 476 m^3 ; módulo de repoblamiento 396 m^3 ; módulo de exhibición 286 m^3 ; módulo de ensayos e investigación 417 m^3 . En total el sistema acuícola tiene a disponibilidad de 4965 m^3 útiles para el desarrollo de actividades acuícolas.
- La calidad de las fuentes de agua que abastecen el Centro de Producción y Capacitación Acuícola, Sabana Grande es adecuada para la producción de la especie acuícola de interés comercial, tilapia *O. niloticus* y sus variedades. El centro cuenta con una temperatura media en sus fuentes de abastecimiento de $23.4 \text{ }^\circ\text{C}$ y una concentración de oxígeno disuelto de 7.6 mg/L .
- Los niveles de metabolitos no rebasaron los límites máximos permisibles y no presentan riesgo para los cultivos, a excepción de nitratos, donde los valores se encuentran $5.5 \pm 1.28 \text{ mg/L}$ en las dos fuentes que abastecen (ríos Mongoy y Cometa) y $3.6 \pm 0.46 \text{ mg/L}$ en los módulos productivos.
- Se determinó mediante el caudal disponible que corresponde a $377 \text{ m}^3/\text{h}$ equivalente a 104 L/s en máximo rendimiento para todo el componente, una disponibilidad de oxígeno de 3.6 mg/L y una tasa de consumo para tilapia con peces de 250g de 101.7 mg/L ; El sistema tiene la capacidad de soportar una biomasa de 13.3 toneladas métricas con una carga máxima de $35.36 \text{ kg/m}^3/\text{h}$.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar un mantenimiento en las tuberías que distribuyen el recurso hídrico dentro centro acuícola. Los afluentes principales deben ser aforados en la manera de obtener un volumen del recurso existente antes de ser desviada en la represa, a fines de estimar un caudal ecológico de conservación.
- Llevar a cabo mediciones *in situ* periódicamente de preferencia a.m. y p.m. y estacional, con la finalidad de observar la tendencia a lo largo del día y crear una bitácora de las condiciones físico-químicas del agua, como temperatura ambiental, horas de radiación solar y precipitación (mm).
- Distribuir el caudal de agua disponible para los módulos de acuerdo a la importancia económica y objetivo de producción. Se recomienda para engorde un 40% que corresponde a 75L/s; para reversión sexual 8% que corresponde a 36 L/s; para reproducción un 12% que equivale a 13 L/s, esta distribución permite hacer uso de un 77% u 81 L/s de la capacidad en los canales de abastecimiento.
- Introducir al objetivo de producción, tilapia de la variedad blanca o Rocky Mountain u Aurea, debido a que las temperaturas en las fuentes de agua (23.4 °C) se encuentran por debajo del rango recomendado para la variedad gris (26 -30°C). Es por esta razón que la variedad blanca podría responder con mejores rendimientos.
- Gestionar la construcción de filtros de carbón activo a los desfuegos del módulo de reversión sexual, es importante considerar neutralizar contaminantes y otros residuos orgánicos. Disminuir el impacto al ecosistema por la concentración de moléculas reversantes; hormona masculinizante 17 alfa metil testosterona.
- Realizar ensayos para evaluar tasa de consumo de oxígeno de la tilapia en temperaturas replicables a las condiciones ambientales de Guatemala. Tomando en cuenta variables de edad y masa de los organismos, existe una pobre disponibilidad de acceso a esa información.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Española de Normalización y Certificación [AENOR]. (2002). *Calidad del agua: Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) / Método del dicromato* [en línea]. Recuperado abril 25, 2013, de <http://blog.educastur.es/analisisycontrol/files/2008/10/dqo.pdf>
2. Bau, J. (1991). *Investigación sobre la conservación del agua en Portugal: Memorias de los seminarios sobre usos eficientes del agua* [en línea]. Recuperado abril 12, 2013, de <http://www.etapa.net.ec/Documentos%20Varios/Agua%20Potable/Agua%20y%20Saneamiento/Conservacion%20del%20agua%20en%20Portugal.pdf>
3. Boyd, C. E. (1979). *Water quality in warmwater fish ponds*. Estados Unidos: Auburn University.
4. Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y El Caribe [CATHALAC] (2013). *Manual: Ensayos In-Situ*. Panama: Ciudad del Saber.
5. Cabrera Peña, J., y Mora Jamett, M. (1982). *Estimación de la capacidad de carga y determinación del área de estanque para el cultivo de peces* [en línea]. Recuperado abril 16, 2013, de http://www.ots.ac.cr/rbt/attachments/volumes/vol31-2/01_Cabrera_Cultivo_peces.pdf
6. Galvis, O., Cueto, A., Navarro, Y., y González, P. (2005). *Consumo de oxígeno de juveniles de tilapia (Oreochromis niloticus) bajo diferentes condiciones de temperatura y su relación con la alimentación* [en línea]. Recuperado mayo 05, 2014, de <http://investigaciones.uniatlantico.edu.co/revistas/index.php/dugandia/article/view/725/454>

7. Gerencia de Aguas Subterráneas. (2000). *Manuales de difusión y divulgación sobre temas selectos de agua subterránea: Contaminación de agua subterránea (II parte)* [en línea]. Recuperado abril 02, 2013, de http://www.imta.gob.mx/index.php?Itemid=80&catid=52:enciclopedia-del-agua&id=181:agua-subterranea&option=com_content&view=article
8. Google Earth, (2013). *Figura No.1.Ubicación geográfica de la finca Sabana Grande; Figura No.2 Instalaciones del centro acuícola y puntos de muestreo.* Recuperado abril 10, 2013, de <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>.
9. Instituto Geográfico Nacional [IGN]. (1982). *Mapa climatológico preliminar de la República de Guatemala.* Guatemala: Autor. Esc. 1:1000000; color.
10. Iturbide, K. (2008). *Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediación* [en línea]. Tesis Maestría en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente. Recuperado abril 09, 2013, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0157_MT.pdf
11. Jover, S. M. (2003). Propuesta metodológica para el diseño de instalaciones piscícolas [en línea]. *Revista AquaTIC*, (19), 17-26. Recuperado enero 18, 2014, de http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/19_3.pdf
12. Lovitch, M. (1967). Water resources of the world and their future: General assembly of Bern. *International Publication of the Association Hydrological Science*, 2, 317-322.
13. Marroquín Mora, C. (2000). La acuicultura en Guatemala [en línea]. *Revista AquaTIC*, (9). Recuperado abril 15, 2013, de <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?c=80>

14. Mazariegos, C. H. (2012). *Informe final del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) realizada en el Centro de Producción y Capacitación Acuícola Sabana Grande, Escuintla*. Universidad de San Carlos de Guatemala [USAC].
15. Metcalf, y Eddy. 1995. *Ingeniería de aguas residuales*. (3a. ed.). México: McGraw-Hill.
16. Misión Técnica de Taiwán; (2011). *Cultivo de Tilapia*. (Trifoliar Informativo)
17. Observatorio Español de Acuicultura [OESA]. (2012). *Evaluación de las actividades de investigación y desarrollo tecnológico en la acuicultura en el periodo 1998-2010*. España: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Recuperado, abril 10, 2013, de <http://www.fundacionoesa.es/publicaciones/evaluacion-de-las-actividades-de-investigacion-y-desarrollo-tecnologico-en-acuicultura-1998-2010>
18. Orellana Samayoa. C. (2009). *Informe final del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), realizado en el Centro de Producción y Capacitación Acuícola Sabana Grande, Escuintla*. Guatemala: USAC.
19. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación [FAO]. (2006). *Visión general del sector acuícola nacional: Guatemala* [en línea]. Recuperado abril 15, 2013, de http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_guatemala/es#tcN900D1
20. Prat, N., Munné, A., Rieradevall, M., Solà, C., y Bonada, N. (1999). *La qualitat ecològica del Llobregat, el Besòs, el Foix i la Tordera*. Barcelona: Servei de Medi Ambient.
21. Recursos de Biología y Geología [BioYGeo]; (2013). *Recursos hídricos y contaminación* [en línea]. Recuperado abril 18, 2013, de http://www.bioygeo.info/pdf/06_Recursos_hidricos_y_contaminacion.pdf.

22. Valbuena-Villarreal, R. D., y Cruz-Casallas, P. E. (2006). *Efecto del peso corporal y temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de tilapia roja (Oreochromis sp)* [en línea]. Recuperado enero 15, 2014, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=89610107>
23. Vásquez, O. (2006). *Estudio del recurso hídrico de la Finca Sabana Grande y determinación de la recarga hídrica vertical de la microcuenca del río Cantil, aldea El Rodeo, Escuintla* [en línea]. Recuperado marzo 03, 2013, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2265.pdf
24. Verweij, M. (2002) *A propósito del caudal ecológico*. Bolivia: Tribuna Neoclectum [en línea]. Recuperado marzo 09, 2015, de <http://neoclectum.com/pdfdocs/ndpz2002.pdf>
25. Vilaseca Vallvé, M. M. (2006). *Uso sostenible del agua en Europa* [en línea]. Recuperado marzo 01, 2011, de http://portalsostenibilidad.upc.edu/detall_01.php?numapartat=8&id=18
26. Zepeda Cornel, J. C. (2004). *Evaluación de la escarificación física y dos métodos de cobertura en semillero de zapote Pouteria sapota (Jacq.) H. Moore & Stearn bajo las condiciones de la Finca Sabana Grande, Escuintla* [en línea]. Recuperado febrero 23, 2013, de http://www.biblioteca.usca.edu.gt/tesis/01/01_2054.pdf.

9. ANEXO

Parámetros <i>in situ</i>	Modulo:					
FECHA	est. 1	est. 2	est. 3	est. 4	est. 5	media
Indicador						
Transparencia (cm)						
Temperatura (°C)						
Conductividad (µS/cm)						
Oxígeno disuelto (mg/L)						

Anexo No.1 Boleta para recolección de datos de parámetros *in situ* (Trabajo de campo 2013).

Parámetros <i>ex situ</i>							
Fecha	DQO	DBO	Nitratos NO3-	Nitritos NO2-	Fosfatos PO4-3	Amoniaco NH4+	pH
Módulo de engorde							
Módulo de reproducción							
Módulo de reversión sexual							
Módulo de repoblamiento							
Módulo exhibición							
Caudal 1							
Caudal 2							

Anexo No.2 Boleta para recolección de datos sobre parámetros *ex situ* (Trabajo de campo)

Transparencia							
	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Media	D.E
Módulo de engorde	52	58	46	58	60	54.9	5.8
Módulo de reproducción	49.0	24.0	25	30.0	24.0	30.4	10.7
Módulo de reversión sexual	60.0		50	53.8	58.0	55.4	4.5
Módulo de repoblamiento	60.0	70.0	60	65.0	58.3	62.6	4.8
Módulo exhibición	50.0	55.0	50	65.0	51.0	54.1	6.4

Anexo No.3 Resultados de transparencia durante la investigación (Trabajo de campo 2013).

Temperatura (°C)								
Componentes del sistema hídrico por mes en Caudal/Módulos	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Media	D.E
Caudal 1	23.4	23.6	23.4	24.1	22.7	23.1	23.4	0.47
Caudal 2	24.1	23.1	23.6	24.0	23.1	22.7	23.4	0.56
Media por mes	23.8	23.4	23.5	24.1	22.9	22.9	23.4	0.46
Desviación Estándar	0.49	0.35	0.14	0.07	0.28	0.28		
Módulo de engorde	25.7	25.5	25.9	26.4	27.5	24.2	25.9	1.09
Módulo de reproducción	28.3	26.4	27.2	27.4	27.1	27.1	27.3	0.64
Módulo de reversión sexual	25.2	23.7		24.3	27.2	26.6	25.4	1.48
Módulo de repoblamiento	26.4	24.7	25.9	25.1	27.1	25.0	25.7	0.92
Módulo exhibición	25.8	24.0	24.0	24.9	26.5	25.4	25.1	0.98
Media por mes	26.3	24.9	25.7	25.6	27.0	25.7	25.9	0.74
Desviación Estándar	1.21	1.09	1.31	1.29	0.37	1.21		

Anexo No.4 Resultados de temperatura durante la investigación (Trabajo de campo 2013).

Conductividad								
Componentes del sistema hídrico por mes en Caudal/Módulos	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Media	D.E
Caudal 1	92.0	82.3	81.3	77.7	83.1	82.3	83.1	4.8
Caudal 2	8.3	79.7	77.6	83.0	76.1	83.2	68.0	29.4
Media por mes	50.2	81.0	79.5	80.4	79.6	82.8	75.6	12.5
Desviación Estándar	59.18	1.84	2.62	3.79	4.95	0.64		
Módulo de engorde	122.9	120.6	116.9	98.8	101.6	81.8	107.1	15.9
Módulo de reproducción	249.6	169.8	143.6	131.0	138.2	145.4	162.9	44.4
Módulo de reversión sexual	114.4	88.4	0.0	68.3	85.4	91.1	82.9	39.4
Módulo de repoblamiento	117.1	72.6	119.3	116.9	100.8	81.9	101.4	20.1
Módulo exhibición	139.0	126.0	108.3	107.7	111.0	111.1	117.2	12.6
Media por mes	148.6	115.5	97.6	104.5	107.4	102.2	114.3	18.6
Desviación Estándar	57.26	37.63	56.13	23.53	19.50	26.93		

Anexo No.5 Resultados de conductividad durante la investigación (Trabajo de campo 2013).

Oxígeno Disuelto (mg/L)								
Componentes del sistema hídrico por mes en Caudal/Módulos	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Media	D.E
Caudal 1	8.3	6.9	8.3	7.9	7.6	7.4	7.7	0.5
Caudal 2	7.4	7.6	7.4	7.4	8.1	6.8	7.5	0.4
Media por mes	7.9	7.3	7.9	7.6	7.9	7.1	7.6	0.3
Desviación Estándar	0.6	0.5	0.6	0.3	0.4	0.4		
Módulo de engorde	9.8	9.6	10.6	8.1	10.6	8.2	9.5	1.1
Módulo de reproducción	18.9	13.2	11.9	10.8	11.1	11.3	12.9	3.1
Módulo de reversión sexual	9.8	7.6		5.4	6.9	6.6	7.3	1.6
Módulo de repoblamiento	9.2	6.5	10.3	9.8	9.1	4.1	8.2	2.4
Módulo exhibición	11.7	10.2	10.0	9.0	9.7	9.3	10.0	0.9
Media por mes	11.9	9.4	10.7	8.6	9.5	7.9	9.6	1.4
Desviación Estándar	4.0	2.6	0.8	2.0	1.6	2.8		

Anexo No.6 Resultados de oxígeno disuelto durante la investigación (Trabajo de campo 2013).

pH					
Componentes del sistema hídrico por mes en Caudal/Módulos	Abril	Mayo	Julio	Agosto	Media
Caudal 1	7	7	7.5	7.5	7.3
Caudal 2	7	7	7.5	7.5	7.3
Módulo de engorde	7.5	7.5	7	7	7.3
Módulo de reproducción	7.5	7.5	6.5	7	7.1
Módulo de reversión sexual	7	7.5		6.5	7.0
Módulo de repoblamiento	7	7	7.5	7.5	7.3
Módulo exhibición	7	7	7	7	7.0
Límite mínimo					6.5
Límite máximo					8.5

Anexo No.7 Resultados de pH durante la investigación (Trabajo de campo 2013).

Demanda Química de Oxígeno mg/L						
Componentes del sistema hídrico por mes en Caudal/Módulos	Abril	Mayo	Julio	Agosto	Media	D.E
Caudal 1	106	90	129		108.3	19.6
Caudal 2	87	81	117		95.0	19.3
Media por mes	96.5	85.5	123		101.7	19.3
Desviación Estándar	13.4	6.4	8.5			
Módulo de engorde	184	124	212		173.3	45.0
Módulo de reproducción	218	209	198		208.3	10.0
Módulo de reversión sexual	148	102			125.0	32.5
Módulo de repoblamiento	163	140	182		161.7	21.0
Módulo exhibición	143	121	147		137.0	14.0
Media por mes	171.2	139.2	184.8		165.1	23.4
Desviación Estándar	30.6	41.3	28.0			

Anexo No.8 Resultados de demanda química de oxígeno durante la investigación (Trabajo de campo 2013).

Nitratos NO3- mg/L						
Componentes del sistema hídrico por mes en Caudal/Módulos	Abril	Mayo	Julio	Agosto	Media	D.E
Caudal 1	6	5	5.9	3.5	5.1	1.16
Caudal 2	6.9	5.2	7.1	4.1	5.8	1.43
Media por mes	6.5	5.1	6.5	3.8	5.5	1.28
Desviación Estándar	0.64	0.14	0.85	0.42		
Módulo de engorde	3.2	2.7	1.1	6.8	3.5	2.41
Módulo de reproducción	0.9	2.2	1.8	4.9	2.5	1.72
Módulo de reversión sexual	5.6	6.2		2.2	4.7	2.16
Módulo de repoblamiento	3.3	2.2	3.6	2.2	2.8	0.73
Módulo exhibición	4.6	4.7	4.9	3.6	4.5	0.58
Media por mes	3.52	3.60	2.85	3.94	3.57	0.46
Desviación Estándar	1.77	1.78	1.73	1.95		

Anexo No.9 Resultados de nitratos durante la investigación (Trabajo de campo 2013).

Nitritos NO₂- mg/L						
Componentes del sistema hídrico por mes en Caudal/Módulos	Abril	Mayo	Julio	Agosto	Media	D.E
Caudal 1	0.07	0.07	0.06	0.16	0.09	0.0469
Caudal 2	0.07	0.09	0.05	0.12	0.08	0.0299
Media por mes	0.07	0.08	0.06	0.14	0.09	0.0373
Desviación Estándar	0	0.0141	0.0071	0.02828		
Módulo de engorde	0.08	0.07	0.11	0.07	0.08	0.0189
Módulo de reproducción	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	0.0050
Módulo de reversión sexual	0.07	0.10		0.10	0.09	0.0173
Módulo de repoblamiento	0.19	0.07	0.08	0.07	0.10	0.0585
Módulo exhibición	0.07	0.08	0.09	0.09	0.08	0.0096
Media por mes	0.10	0.08	0.09	0.08	0.09	0.0081
Desviación Estándar	0.05273	0.013	0.0208	0.01414		

Anexo No.10 Resultados de nitritos durante la investigación (Trabajo de campo 2013).

Fosfatos PO₄-3 mg/L						
Componentes del sistema hídrico por mes en Caudal/Módulos	Abril	Mayo	Julio	Agosto	Media	D.E
Caudal 1	0.30	0.30	0.30	1.00	0.48	0.3500
Caudal 2	0.40	0.50	0.30	0.20	0.35	0.1291
Media por mes	0.35	0.40	0.30	0.60	0.41	0.1315
Desviación Estándar	0.07071	0.1414	0	0.56569		
Módulo de engorde	0.20	0.20	0.30	0.50	0.30	0.1414
Módulo de reproducción	0.20	0.60	0.60	0.60	0.50	0.2000
Módulo de reversión sexual	0.20	0.40		0.20	0.27	0.1155
Módulo de repoblamiento	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.0000
Módulo exhibición	0.20	0.20	0.30	0.20	0.23	0.0500
Media por mes	0.20	0.32	0.35	0.34	0.30	0.0695
Desviación Estándar	0.20	0.1789	0.1732	0.19494		

Anexo No.11 Resultados de fosfatos durante la investigación (Trabajo de campo 2013).

Amonio NH4+ mg/L						
Componentes del sistema hídrico por mes en Caudal/Módulos	Abril	Mayo	Julio	Agosto	Media	D.E
Caudal 1	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.0050
Caudal 2	0.06	0.06	0.03	0.06	0.05	0.0150
Media por mes	0.06	0.06	0.04	0.06	0.06	0.0100
Desviación Estándar	0	0	0.0141	0		
Módulo de engorde	0.06	0.06	0.01	0.06	0.05	0.0250
Módulo de reproducción	0.06	0.08	0.05	0.06	0.06	0.0126
Módulo de reversión sexual	0.06	0.08		0.06	0.07	0.0115
Módulo de repoblamiento	0.06	0.06	0.05	0.11	0.07	0.0271
Módulo exhibición	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.0050
Media por mes	0.0600	0.0680	0.0400	0.0700	0.06	0.0137
Desviación Estándar	0.0000	0.0110	0.0200	0.0224		

Anexo No.12 Resultados de amonio durante la investigación (Trabajo de campo 2013).