Efraín Cuentas Peña y Nelson Ojeda

Evaluación ambiental para una producción piscícola sostenible en la provincia Guarayos, Santa Cruz

CIPCA
Centro de Investigación y Promoción del Campesinado

Serie técnica de propuestas económicas productivas 02

Efraín Cuentas Peña y Nelson Ojeda

Evaluación ambiental para una produccion piscicola sostenible en la provincia Guarayos, Santa Cruz

Santa Cruz, junio de 2021

Centro de Investigación y Promoción del Campesinado

Serie técnica de propuestas económicas productivas 02

Cuentas Peña, Efraín; Ojeda Nelson
Evaluación ambiental para una producción piscícola sostenible en la provincia Guarayos, Santa Cruz / Efraín Cuentas Peña: Nelson Ojeda.-- La Paz: CIPCA, 2021.
127 p.; fots.; grafs.; maps.; tbls; 15,5 x 21.—(Serie Técnica de Propuestas Económicas Productivas; Nº 2)

D.L.: 4-1-2521-2021
ISBN: 978-9917-603-03-0

/ COMUNIDADES INDÍGENAS / MODELOS DE DESARROLLO /AGROPECUARIA SOSTENIBLE / PISCICULTURA / PRODUCCIÓN PISCÍCOLA / CRÍA DE PECES / VALOR NUTRITIVO / CALIDAD DEL AGUA / COMPOSICIÓN QUÍMICA / EVALUACIÓN AMBIENTAL / IMPACTO AMBIENTAL / GUARAYOS – SANTA CRUZ / BOLIVIA/

Esta publicación cuenta con el apoyo de Secours Catholique Caritas Francia, la Agencia Francesa de Desarrollo y el Fondo Francés para el Medio Ambiente Mundial.

© 2021, Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA).

Casilla 5854, La Paz, Bolivia
Teléfono: (591-2)2910797 – Fax (591-2) 2910796
Calle Claudio Peñaranda Nº 2706, esquina Vincenti, Sopocachi

Casilla: 3522, Santa Cruz, Bolivia
Av. 26 de febrero No. 652 (segundo anillo), entre Av. Roca Coronado y Pirai
Telefóno: (591-3) 3521884 - Fax (591-3) 3532338

Correo electrónico: cipca@cipca.org.bo
Página web: www.cipca.org.bo
La Paz, Bolivia

Impreso en Bolivia
Impresión 500 ejemplares
Primera edición

Edición: Virginia Aillón
Diagramación: Pilar Montesinos y José Manuel Zuleta (Bien Común Estudio)
Impresión: Arya Artes Gráficas
Producción: CIPCA
Año: 2021

Índice

AGRADECIMIENTOS 11

PRESENTACIÓN 13

RESUMEN EJECUTIVO 15

1. INTRODUCCIÓN 17

1.1 Marco legal de la actividad acuícola en Bolivia 20

1.2 La piscicultura como rubro estratégico Propuesta Económica Productiva (PEP) de CIPCA 21

Manejo Integral del Bosque 22

Agricultura Sostenible 23

Fortalecimiento organizacional y gestión empresarial de las OECI 23

Pecuaria Sostenible 23

1.3 La piscicultura y el medio ambiente 25

1.4 Objetivos 26

Objetivo general 26

Objetivos específicos 26

2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL 27

Acuicultura 29

Piscicultura 29

2.1. Sistema de producción piscícola 30

2.1.1 Requerimientos físicos del agua para la cría de peces 32

Conductividad 32

Temperatura 32

Transparencia 35
2.1.2 Requerimientos químicos del agua para la cría de peces 36
Alcalinidad, dureza y calcio 36
Cloruro, nitrito y amonio 38
Hierro 40
Oxígeno disuelto 41
Ph 45
2.1.3. Análisis integrado de los parámetros de calidad del agua en piscicultura 46
2.1.4. Requerimientos biológicos del agua para la cría de peces 49
Fitoplancton 49
Zooplancton 52
Coliformes 53
2.2 Cambio climático y piscicultura 54
2.3. Valor nutricional del pescado 55
2.4 Beneficios de la piscicultura 56
2.4.1. Beneficios del consumo de pescado 56
2.4.2. Beneficios económicos (Estudio de Viabilidad Económica) 57
2.4.3. Beneficios sociales y culturales 57
2.4.4. Beneficios ambientales 59

3. MATERIALES Y MÉTODOS 61
3.1 Área de estudio 63
3.2. Diseño experimental 66
3.3 Muestreo en campo 68
3.3.1. Parámetros físicos 68
Conductividad eléctrica 68
Temperatura 68
Transparencia 69

3.2.2 Parámetros químicos 69
pH 69
Oxígeno Disuelto 70
Nitritos 70
Amonio tóxico 70
Cloruros 70
Hierro, calcio, alcalinidad y dureza 70
3.3.3. Parámetros biológicos 71
3.4. Análisis de la información 71

4. RESULTADOS 73
4.1. Parámetros físicos 75
Conductividad 76
Temperatura 78
Transparencia 79
4.2. Parámetros químicos 80
Alcalinidad 83
Amonio tóxico 84
Calcio 85
Cloruro 86
Dureza 87
Hierro 89
Nitrito 90
Oxígeno disuelto 91
pH 93
4.3. Parámetros biológicos 94
Fitoplancton 98
Zooplancton 99
Coliformes termo resistentes 102

4.4. Correlaciones entre los parámetros evaluados 102

5. DISCUSIÓN **107**

5.1. Resultados sobre parámetros físico químicos 109

5.2. Resultados sobre parámetros biológicos 114

6. CONCLUSIONES **115**

6.1. Sobre parámetros físico químicos 117

6.2. Sobre parámetros biológicos 118

7. RECOMENDACIONES **119**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **123**

FIGURAS

Figura 1 *CIPCA. Propuesta Económica Productiva, PEP. Componentes*

Figura 2 *Sistema de producción piscícola. Influencia de la temperatura en la concentración de oxígeno disuelto en el agua*

Figura 3 *Sistema de producción piscícola. Influencia de la temperatura en la concentración de oxígeno disuelto en el agua*

Figura 4 *Sistema de producción piscícola. Efecto de la concentración de oxígeno disuelto en peces de agua caliente en cultivo*

Figura 5 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Influencia provincial del estudio. Impactos de la actividad piscícola en el agua surgente*

Figura 6 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Ubicación georreferenciada de los estanques y afluentes naturales*

Figura 7 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Personal de CIPCA determinando parámetros físicos (equipo multiparamétrico portátil) con la Unidad de apoyo de laboratorios de la Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno*

Figura 8 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valores de conductividad eléctrica del agua de estanques piscícolas y respectivo afluente natural*

Figura 9 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valores de temperatura del agua de estanques piscícolas y respectivo afluente natural*

Figura 10 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valores de transparencia del agua de estanques piscícolas y respectivo afluente natural*

Figura 11 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valores de alcalinidad del agua de estanques piscícolas y respectivo afluente natural*

Figura 12 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valores de amonio tóxico del agua de cada estanque piscícola y respectivo afluente natural*

Figura 13 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valores de calcio del agua de cada estanque piscícola y respectivo afluente natural*

Figura 14 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valores de cloruro del agua de cada estanque piscícola y respectivo afluente natural*

Figura 15 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valores de dureza del agua de cada estanque piscícola y respectivo afluente natural*

Figura 16 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valores de hierro del agua de cada estanque piscícola y respectivo afluente natural*

Figura 17 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valores de nitrito del agua de cada estanque y respectivo afluente natural*

Figura 18 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valores de oxígeno disuelto del agua de cada estanque piscícola y respectivo afluente natural*

Figura 19 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valores de pH del agua de cada estanque piscícola y respectivo afluente natural*

Figura 20 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valores de fitoplancton del agua de cada estanque piscícola y respectivo afluente natural*

Figura 21 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valores de zooplancton del agua dve cada estanque piscícola y respectivo afluente natural*

Figura 22 *Coeficiente de correlación de Pearson (-1< r <1) y significancia estadística de los parámetros físicos, químicos y biológicos (significativo para * p< 0,05, ** p< 0.01, *** p< 0.001)*

Figura 23 *Análisis de componentes principales de los parámetros físicos, químicos y biológicos de las aguas de los estanques piscícolas y afluentes naturales*

TABLAS

Tabla 1 *CIPCA. Crecimiento de la piscicultura en la provincia Guarayos*

Tabla 2 *Sistema de producción piscícola. Recomendaciones para la fertilización de la poza*

Tabla 3 *Sistema de producción piscícola. Valores óptimos y métodos de medición de la calidad del agua*

Tabla 4 *Sistema de producción piscícola. Clasificación del agua según su dureza*

Tabla 5 *Paraguay. Intervalos deseados de los parámetros de calidad del agua para la producción de peces en la piscicultura*

Tabla 6 *Paraguay. Síntomas, probables causas y medidas correctivas de manejo en peces en estanques de cultivo*

Tabla 7 *Relación entre la visibilidad del Disco de Secchi y la condición del "Bloom" de fitoplancton*

Tabla 8 *Sistema de producción piscícola. Criterios microbiológicos de aguas usadas en acuicultura*

Tabla 9 *Sistema de producción piscícola. Constituyentes del músculo del pescado*

Tabla 10 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Comunidades y estanques en estudio*

Tabla 11 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Descripción de las localidades evaluadas y muestreo de parámetros físicos, químicos y biológicos*

Tabla 12 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Promedios de parámetros físicos obtenidos por Municipio*

Tabla 13 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Resultados del test T de análisis de parámetros físicos*

Tabla 14 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Promedios de parámetros químicos obtenidos por municipio*

Tabla 15 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Resultados del test T de análisis de parámetros químicos*

Tabla 16 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Promedio de parámetros biológicos por municipio*

Tabla 17 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Especies de fitoplancton identificados en el estudio*

Tabla 18 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Resultados del test T de análisis de parámetros biológicos*

Tabla 19 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Especies de zooplancton identificados en el estudio en estanques y afluentes*

Tabla 20 *Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Comparación entre parámetros evaluados en el presente estudio y resultados de otras investigaciones consultadas*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos expresar nuestra especial gratitud a las familias de las comunidades de Rio Chico, Villa Fátima, Jesús Nazareno e Iyosar II, así como a la Asociación de Piscicultores Curuvina de Yotau, quienes aceptaron participar y llevar adelante la presente investigación en sus emprendimientos piscícolas de los municipios de Ascensión de Guarayos y El Puente.

También agradecemos a los pasantes Mariano Melgarejo, Claudio Candaguira, Lorena Rocha de la Carrera de Agropecuaria del Instituto Tecnológico Superior Yemboezareta por brindarnos el apoyo en el levantamiento de muestras en las comunidades. De igual manera a Ernesto Gómez por su apoyo en todo el proceso de la investigación, así como a los demás miembros de las comunidades quienes, directa o indirectamente, contribuyeron a la investigación.

Asimismo, agradecemos a *Secours Catholique Caritas France*, el Fondo Francés para el Medio Ambiente Mundial y a la Agencia Francesa para el Desarrollo por el apoyo en la realización de esta investigación.

PRESENTACIÓN

El presente documento *Evaluación ambiental para la producción piscícola sostenible en la provincia Guarayos, Santa Cruz*, es un aporte técnico orientado a promover iniciativas alternativas y sostenibles para fortalecer el sistema productivo municipal, fortaleciendo el desarrollo económico local y los circuitos cortos de comercialización piscícola. La piscicultura es un rubro estratégico con base en un producto con un alto valor nutricional. que puede mejorar la oferta alimentaria para los pobladores rurales. Este rubro es una eficiente alternativa a la expansión de la ganadería extensiva tradicional en el municipio de Guarayos.

En el contexto actual, este documento puede inspirar a otros actores y sectores en el país al establecimiento de estrategias viables de transformación productiva municipal con el propósito de articular competitiva y sustentablemente la economía del territorio a mercados dinámicos. De esta forma, se puede demostrar que la actividad piscícola es una alternativa económica, ambiental y socialmente viable para promover un desarrollo territorial. Este desarrollo supone la gestión integral y concertada entre actores de un espacio territorial, mediante la ejecución de iniciativas productivas tendientes a satisfacer las necesidades básicas actuales, sin comprometer la disponibilidad de recursos naturales para las generaciones futuras. Asimismo, estableciendo que los excedentes se destinen a mercados locales potenciales, se fortalece la diversificación de la estructura de ingresos de estos productores rurales.

A partir de los resultados de este estudio, consideramos importante, plantear estrategias municipales para el desarrollo productivo local, mediante el establecimiento de políticas públicas orientadas a lograr la autosuficiencia alimentaria, priorizando la diversificación de productos locales con alto valor nutritivo que han sido desplazados por alimentos foráneos. Para ello es importante dinamizar estrategias de desarrollo productivo con soberanía alimentaria, que permitan generar condiciones para impulsar un sistema productivo agropecuario de autosuficiencia del sector de alimentos en el municipio de Guarayos.

En CIPCA Regional Santa Cruz, consideramos que el cambio climático y el rápido aumento de la desigualdad territorial se encuentran entre los principales factores de riesgo en el país. Institucionalmente reafirmamos nuestra posición de poner en marcha un nuevo paradigma de desarrollo, basado en relaciones diferentes con el medio ambiente, donde la actividad piscícola integrada a la agricultura, se constituya en una interesante alternativa productiva, que promueva el desarrollo resiliente del municipio de Guarayos. Viabilizar y compatibilizar el desarrollo social y el cuidado del medio ambiente, son premisas para generar condiciones de gobernabilidad territorial, en el marco de sociedades más igualitarias y justas.

Marcelo Arandia Alarcón

Director de CIPCA Regional Santa Cruz

RESUMEN EJECUTIVO

Este estudio se realizó en la provincia Guarayos, Santa Cruz, Bolivia, con los siguientes objetivos: *i)* evaluar parámetros físicos, químicos y biológicos de las aguas de estanques piscícolas en relación a los afluentes naturales, *ii)* determinar la percepción de los piscicultores sobre la protección y conservación de las fuentes naturales de agua y el bosque. El trabajo se concentró en 12 estanques piscícolas, de 74 instalados en la provincia Guarayos.

La colecta de agua se realizó entre septiembre y octubre de 2019. Los parámetros evaluados fueron: conductividad eléctrica, temperatura, transparencia, alcalinidad, amonio tóxico, calcio, cloruro, dureza, hierro, nitrito, oxígeno disuelto, pH, fitoplancton, zooplancton y coliformes termo resistentes. El análisis estadístico fue realizado mediante el software R versión 3.6.1.

De los 15 parámetros evaluados, solo en temperatura y nitrito se encontraron diferencias estadísticas significativas en estanques piscícolas con sus respectivos afluentes naturales. Se identificaron algunas deficiencias en la producción piscícola que se deben corregir para lograr una producción más sostenible. Mientras que, en todos los estanques y afluentes naturales, hay bajos niveles de calcio. El hierro se ha presentado en exceso en más del 50% de los estanques y respectivos afluentes naturales. Se registró mayor diversidad de especies de fitoplancton y zooplancton en los estanques que en sus respectivos afluentes. Se detectó presencia de coliformes termo resistentes en los estanques y respectivos afluentes. En las recomendaciones del estudio se plantean medidas para corregir eventuales deficiencias.

1. INTRODUCCIÓN

Implementación de poza piscícola en la provincia Guarayos, Santa Cruz. Foto: CIPCA Santa Cruz

El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018 pone de relieve la importancia de la pesca y la acuicultura en la alimentación y la nutrición, así como en el empleo de millones de personas, generalmente pobres. En 2016, a producción total de pescado alcanzó un máximo histórico de 171 millones de toneladas, de las que 88% se utilizaron para el consumo humano directo, gracias a la estabilidad relativa de la producción de la pesca de captura, la reducción del despilfarro y el continuo crecimiento de la acuicultura (FAO, 2018). Como resultado de esta producción, en 2016 se registró un consumo *per cápita* de 20,3 kg, que también es un máximo histórico.

Desde 1961, el crecimiento anual mundial del consumo de pescado ha duplicado el crecimiento demográfico, poniendo de manifiesto que el sector pesquero es fundamental para alcanzar la meta de la FAO de un mundo sin hambre ni malnutrición. La contribución del sector al crecimiento económico y a la lucha contra la pobreza va en aumento (FAO, 2018).

En Bolivia y según el Censo Nacional de Población y Vivienda de 2012, tenía 10.027.254 habitantes. El consumo *per cápita* anual de pescado es de 2,1 kg. El Producto Interno Bruto, PIB, del sector silvicultura caza y pesca creció en 5,1 % respecto del año anterior (INE, 2013); esto representa 4.535.192 US$ a 2012; a su vez el PIB de la acuicultura es 7,1 % del PIB pesquero por lo que se le calcula una cifra de 323.812.7 US$ a 2012.

Si eso a nivel nacional, en Santa Cruz las familias campesinas e indígenas son los principales actores de esta expansión están. En la provincia Guarayos, donde las condiciones ambientales son favorables, la piscicultura representa una estrategia de diversificación del sistema de producción familiar. De acuerdo con Canal, *et al*. (2007), se estima que existen más de 800 piscicultores en los departamentos de Santa Cruz y Beni. Sin embargo, a pesar de la promoción por parte de institucio-

nes públicas, de desarrollo y emprendimientos privados, la demanda del mercado interno no está satisfecha.

La producción óptima de peces requiere de una buena genética de alevines, alimentación y calidad de agua, por lo cual una buena producción piscícola requiere un buen manejo del agua. Esta es la razón para realizar este estudio a fin de comprender los posibles efectos ambientales que se pueden ocasionar en los acuíferos naturales los insumos utilizados en el manejo de los peces.

1.1 Marco legal de la actividad acuícola en Bolivia

A partir del 13 de marzo de 2014 entra en funcionamiento la Institución Pública Desconcentrada de Pesca y Acuicultura, PACU, creada mediante el Decreto Supremo N° 1922. Esta entidad es pública, técnica y operativa, con independencia de gestión administrativa, financiera, legal y técnica, sobre la base de la normativa interna del Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras, MDRyT, bajo la dependencia funcional del Viceministerio de Desarrollo Rural Agropecuario, VDRA. Tiene la misión de:

> Constituirse en la entidad articuladora y operativa del desarrollo integral sustentable de la pesca y acuicultura en el territorio nacional, realizando la gestión, implementación y ejecución de programas y proyectos, así como la investigación, innovación y promoción de alternativas para el fortalecimiento del sector, en busca de la seguridad alimentaria para el vivir bien (Bolivia. MDRyT. s.f.).

Asimismo, el 3 de mayo de 2017, se promulgó la Ley N° 938, denominada Ley de Pesca y Acuicultura Sustentable, que tiene por objeto: regular, fomentar, incentivar y administrar el aprovechamiento de los recursos pesqueros y acuícolas en el territorio nacional, con la finalidad del desarrollo integral y sustentable de la Pesca y Acuicultura. A continuación, se han extraído algunos artículos de mayor importancia de esa Ley:

Artículo 4. (INTERÉS SOCIAL Y ESTRATÉGICO). Se declara a la Pesca y a la Acuicultura de interés social y estratégico por la importancia que tiene para la seguridad y soberanía alimentaria.

Artículo 12. (AUTONOMÍAS INDÍGENA ORIGINARIO CAMPESINOS). Las Autonomías Indígena Originaria Campesinos, en coordinación con la IPD - "PACU", los Gobiernos Autónomos Departamentales y/o Municipales, tendrán las siguientes responsabilidades:

1. Proponer y formular programas y proyectos de Pesca y Acuicultura en su respectiva jurisdicción en el marco de la política nacional y departamental.

2. Recuperar los conocimientos y tecnologías ancestrales y saberes locales para la conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos pesqueros y acuícolas, en coordinación con la IPD – "PACU" y con los Servicios Departamentales de Pesca y Acuicultura.

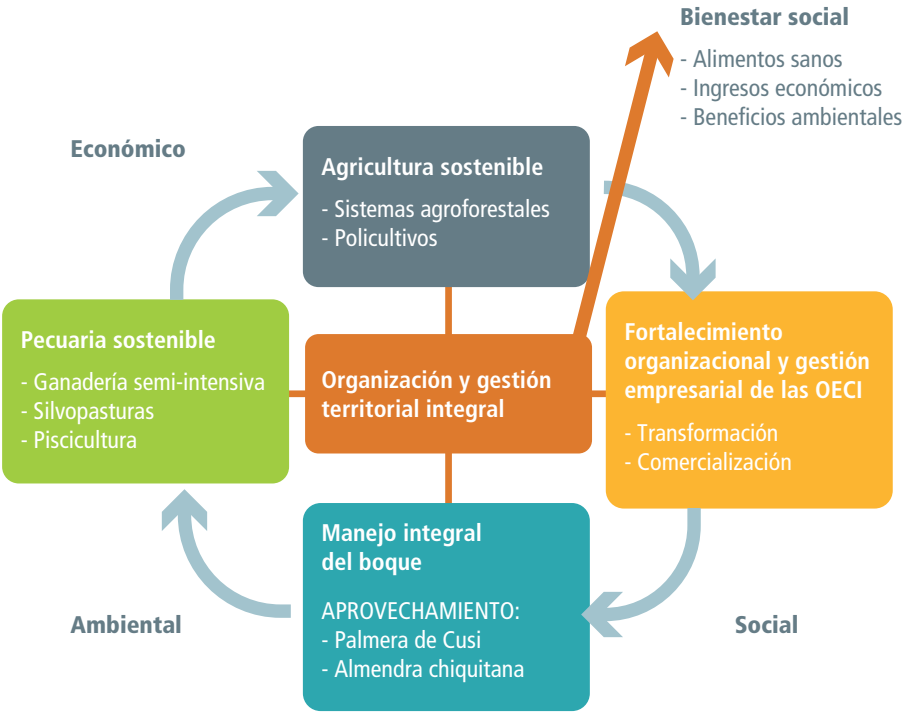
3. Adoptar políticas para la recuperación de las especies hidrobiológicas en peligro de extinción.

1.2 La piscicultura como rubro estratégico Propuesta Económica Productiva (PEP) de CIPCA

La PEP es un instrumento de CIPCA que tiene el objetivo de implementar acciones estructuradas en componentes productivos agroecológicos y de interacción con los recursos naturales, con enfoque de desarrollo rural integral sostenible para la gobernanza ambiental en las zonas de cobertura, apelando a lineamientos solventados en criterios de género, generacional, de resiliencia y adaptación a los efectos del cambio climático.

La PEP combina las lógicas de producción familiar, comunal y territorial, de ahí que las actividades de la PEP son efectuadas por ellos mismos. El siguiente gráfico muestra los componentes de la PEP:

Figura 1
CIPCA. Propuesta Económica Productiva, PEP. Componentes



Fuente: CIPCA-SC, 2018

Manejo Integral del Bosque

Tiene como objetivo garantizar la conservación y el aprovechamiento de todo el potencial del bosque, considerando que no solo es productor de madera, sino que es fuente de diversos bienes y servicios de los cuales se obtienen beneficios económicos (madera, leña, subproductos maderables y no maderables), ecológicos (agua, suelo, clima, fauna) y sociales (belleza escénica, ámbito de vida, condiciones de salud, educación, integración comunitaria). En ese marco, el Manejo Integral y Sustentable de los Bosques, se basa en los siguiente dos conceptos: i) el Manejo Integral; y, ii) que este manejo sea Sustentable.

Agricultura Sostenible

Consiste en un sistema de producción de alimentos que incorpora principios y prácticas agroecológicas. Este tipo de producción promueve la conservación y mejora de la calidad de los recursos (suelo, agua y bosque), garantiza la seguridad alimentaria, con una producción diversificada y escalonada, genera excedentes comercializables, que brindan ingresos económicos a corto, mediano y largo plazo. Son pilares de este componente la protección, conservación y uso responsable de los recursos naturales y la promoción del diálogo de saberes.

Fortalecimiento organizacional y gestión empresarial de las OECI

Las Organizaciones Económicas Campesinas Indígenas, OECI, surgen ante la desventaja de la población rural para enfrentar los requerimientos del mercado y sus limitaciones para acceder a él, y responden a un modelo asociativo sectorial que posibilita desarrollar acciones más efectivas en la cadena productiva, o en algunos de sus eslabones (producción, generación de valor agregado y comercialización). Su fin es generar economías de escala y mejoras en la competitividad comercial incrementando las oportunidades de crecimiento individual y colectivo en un escenario de crisis ambiental y degradación de las bases productivas (suelo, agua y semilla).

Pecuaria Sostenible

Plantea un sistema de crianza de animales que optimiza la utilización del espacio y combina prácticas de manejo sostenible orientadas a la seguridad alimentaria y a la generación de ingresos. Se propone como un sistema de producción semi-intensiva sostenible, cuya implementación permita incorporar a las mujeres en su manejo porque con las innovaciones tecnológicas incorporadas (rotación de potreros, atajados para bebederos, corrales, pozas piscícolas) ahorran tiempo, alivian la carga de trabajo y permite visibilizar su rol productivo en la economía. Uno de los rubros estratégicos de este componente es la piscicultura destinada a satisfacer el consumo familiar y generación de excedentes para el mercado.

En 2013 CIPCA inició actividades para promover la piscicultura inicialmente, con la instalación de dos estanques comunales (pozas de 1000 m^2 de espejo de agua) para la cría de tambaquí (*Colossoman brachypomun*) en la comunidad de Villa Fátima del municipio de Guarayos. Se trabajó con 13 agricultores con la finalidad de diversificar los medios de vida de las familias, además de proponer una alternativa de producción de alimentos en relación a la ganadería extensiva tradicional predominante y así disminuir la presión sobre los bosques en la región.

Hasta el 2018 el trabajo de CIPCA en la provincia Guarayos, ha beneficiado a 79 familias de las comunidades de Yotaú (municipio El Puente), Villa Fátima y Rio Chico (municipio Guarayos), llegando a una producción de 55 toneladas de peces ese año. La crianza de peces se realiza en 32 pozas comunales y 42 pozas familiares, y la producción fue dirigida al mercado local como pescado en fresco y cocido, de muy buena aceptación., donde la

Asimismo, entre 2013 y 2019, en la provincia Guarayos, el trabajo de CIPCA incluyó la instalación de 74 estanques en producción (ver Tabla 1), de los cuales 42 son familiares y 32 comunales. Desde 2017, se ha incrementado la construcción de estanques por año, llegando ese año a 68 (30 nuevos familiares y 8 nuevos comunales). Así mismo, producto del incremento de los estanques instalados, la cantidad de alevines por año fue creciendo paulatinamente hasta tener una demanda de 74.000 alevines en 2019.

Tabla 1
CIPCA. Crecimiento de la piscicultura en la provincia Guarayos

Estanques en producción	Año						
	2013	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
Familiares	0	0	4	18	40	40	42
Comunales	3	3	20	20	28	30	32
Total	**3**	**3**	**24**	**38**	**68**	**70**	**74**
Alevines sembrados por ciclo (densidad 1 ind/m2)	3.000	3.000	24.000	38.000	68.000	70.000	74.000

Superficie de producción (m2)	3.000	3.000	24.000	38.000	68.000	70.000	74.000
Producción de pescado anual (t/año).	2,1	2,1	18	28,5	54,4	56	59,2

Fuente: elaboración propia

Por lo tanto, en la provincia Guarayos la piscicultura se está posicionado como una alternativa de producción de alimentos muy importante, que genera ingresos económicos y, además, es una actividad en la que participa toda la familia.

1.3 La piscicultura y el medio ambiente

En términos ambientales, la piscicultura es un interesante potencial relativo, respecto, por ejemplo, a la ganadería extensiva. Según datos sobre manejo de ganadería extensiva en Chaco y Amazonía Sur (Beni), se precisan 14 hectáreas de pasturas por unidad animal, siendo el promedio de 4,5 años para el beneficiado de carne, lo que arroja un estimado de entre 7 a 10 kg anual de carne por hectárea. Mientras, en la piscicultura, en una poza de 1000 m^2 (0,1 ha) se producen 2400 kg de carne de pescado, en un periodo aproximado de 8 a 10 meses, lo que en términos de hectáreas equivale a 24.000 kilogramos por hectárea, respecto a los 7 a 10 kg por hectárea de la ganadería extensiva.

La crianza de peces en estanques o pozas es una fuente de alimentos ricos en proteínas y el agua es el recurso natural esencial para desarrollar esta actividad, pues en ella los peces se alimentan, crecen y realizan sus necesidades fisiológicas. Por tal razón, el éxito de esta actividad depende del cuidado de las fuentes naturales y el buen mantenimiento de la calidad del agua.

La calidad del agua está determinada por parámetros físicos, químicos y biológicos. Todos los organismos vivos tienen límites tolerables a los parámetros de calidad del agua y, en piscicultura, la calidad del agua puede ser influenciada por diversos factores, como el origen de la fuente de abastecimiento de agua y el manejo de la alimentación de los peces, que requieren altos aportes de proteína.

Una gran parte de los nutrientes se convierten en desechos, que luego se descargan directamente a las aguas circundantes, lo que puede causar un deterioro en la calidad del agua. Por ello que es importante evaluar este fenómeno y generar recomendaciones pertinentes para su mitigación o adaptación en la producción.

Una fuerte caída o aumento en los límites físico químicos tolerables puede tener efectos adversos en los peces como también en otros organismos Kiran (2010). En general, existe escasa información sobre los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua de los estanques piscícolas como de las fuentes naturales. Generar ese conocimiento es muy relevante para comprender la relación de las aguas de los estanques piscícolas y las aguas naturales circundantes, así como para promover prácticas para proteger las fuentes naturales de agua y mantener un ambiente acuático saludable para la producción.

Con tales antecedentes a continuación, se presentan los objetivos del presente estudio.

1.4 Objetivos

Objetivo general

Evaluar en la provincia Guarayos la calidad de las aguas surgentes de estaques piscícolas en relación a los afluentes naturales.

Objetivos específicos

- Evaluar parámetros físico-químicos de las aguas de estanques piscícolas en relación a los afluentes naturales.
- Evaluar parámetros biológicos de las aguas de estanques piscícolas en relación a los afluentes naturales.

2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Alimentación de peces con alimento balanceado. Foto: CIPCA Santa Cruz.

Este apartado presenta de manera sintética el conocimiento técnico-científico sobre diversos aspectos que hacen a la actividad piscícola a nivel global y local.

Acuicultura

Conjunto de técnicas que se emplea para cultivar especies de agua, tanto animales como plantas. Se trata de procedimientos que permiten criar organismos acuáticos con distintos fines (Pérez y Gardey, 2012). La acuicultura puede desarrollarse en agua salada o en agua dulce. En algunos casos, los especialistas trabajan en condiciones controladas y dispuestas de modo artificial. También pueden desarrollar su labor en el medio natural, interviniendo de distintas maneras.

Los orígenes de la acuicultura son muy antiguos. Varios milenios antes de Cristo, en China, ya se desarrollaban prácticas de este tipo, sobre todo con los peces carpa. En la época medieval, la acuicultura comenzó a popularizarse también en el continente europeo.

Piscicultura

Técnicas y procedimientos que permiten impulsar y controlar la reproducción de peces y de otros animales acuáticos (como los mariscos). La piscicultura puede aplicarse en peceras, estanques, ríos u otros espacios que tengan al agua como mee dio principal. Su etimología procede de las voces *piscis*, que significa pez, *cultus*, que puede traducirse como cultivado y ura, que se emplea para indicar lo que es el "resultado de una actividad" (Pérez y Gardey, 2012).

2.1. Sistema de producción piscícola

- El sistema semi intensivo de crianza de peces considera una densidad de un pez por m^2 (pacú o tambaquí), con un rendimiento promedio de 1.000 a 1.200 kg por poza de 1.000 m^2 de espejo de agua (20 x 50 m). El ciclo de crianza considera 365 días, que incluye las siguientes actividades: establecimiento de la poza, para lo que se considera la disponibilidad del agua (arroyo o naciente) y aspectos físicos del suelo, como la impermeabilidad, para la retención del agua.
- Desinfección del agua, sobre todo para la eliminación de predadores. Se emplea cal hidratada en estanques sin presencia de peces, a razón de 100 g/m^2 en estanque seco o con poca agua; y 200 g/m^2 en estanque lleno de agua.
- Abonamiento del agua, con la finalidad de promover el desarrollo de fitoplancton y zooplancton que sirven como alimento a los peces en su primera etapa de vida. Para el efecto se usa estiércol de vaca, gallinaza y compost, entre otros, como se detalla en la Tabla 2:

Tabla 2
Sistema de producción piscícola
Recomendaciones para la fertilización de la poza

SITUACIÓN	PROCEDIMIENTO
Para estanques nuevos	Llenar el estanque con agua hasta 30 a 50 cm de altura. Aplique al boleo 150 kg de abono animal para 1000m^2 y dejar por una semana, para posteriormente llenar el estanque.
Para pozas sin peces en las cuales se haya retirado la mayor parte del agua	**Previamente medir la transparencia**, ver punto de la transparencia 4.4.1, si corresponde, aplicar al boleo 150 kg de abono animal para 1000m^2 y dejar por una semana, para posteriormente llenar el estanque.
En el caso que la poza este llena de agua, sin peces	**Previamente medir la transparencia** ver punto medición de la transparencia 4.4.1, si corresponde, se sumerge en un turril de 200 l con agua, 80 kg de estiércol fresco de vaca y 30 kg de gallinaza, ambos en bolsas de yute amarradas para que permitan el ingreso de agua, dejar por dos días, luego retirar y desechar las bolsas con su contenido y aplicar el agua del turril a la poza. Para una poza de 1000m^2 se requiere preparar 2 turriles o un total de 400 l.

Fuente: CIPCA, 2020

- Control de calidad del agua, para determinar las condiciones en las que se encuentra el agua de la poza. En la Tabla 3, se detallan los parámetros más importantes y sus valores óptimos a considerar:

Tabla 3
Sistemas de producción piscícola. Valores óptimos y métodos de medición de la calidad del agua

VARIABLE	VALORES	MÉTODOS DE MEDICIÓN
pH	6,5 a 8,5	Reactivos, pH metro, papel tornasol
Oxígeno disuelto	Mayor a 4 mg/l	kit de análisis químico o un oxímetro
Temperatura	24 a 32°C	Termómetro manual o digital
Transparencia	observación de los colores del disco de Secchi a los 50 cm	Con el brazo o disco de Secchi
Color	Agua verdosa	Visual

Fuente: CIPCA, 2020

- Siembra de alevines a primeras horas de la mañana. Sembrar la cantidad optima, considerando la relación de 1 pez/m^2, a fin de realizar un adecuado uso del espacio disponible. Al momento de la siembra, los productores/as locales, adicionarán hasta 20% más de alevines/juveniles, a fin de cubrir posibles pérdidas. El tamaño adecuado de los alevines deber ser igual o mayor a 5 cm.
- Alimentación para proveer energía y nutrientes a los peces. Su importancia radica en la calidad y cantidad ofertada, que afectará directamente en los costos de producción. En una producción comercial de pacú, si bien es posible usar en la alimentación frutas y productos agrícolas, es de suma importancia suplementar con alimento balanceado extrusado. En una primera etapa la alimentación es natural (fitoplancton y zooplancton, provenientes del abonado), luego con alimentos preparados (extrusado), con base a controles biométricos cada 15 días, a fin de establecer con mayor certeza el requerimiento de alimento de los peces.
- Cosecha y comercialización, que se produce una vez los peces alcanzan un peso mínimo de 800 g. Este pesaje se alcanza aproximadamente a los 7 meses de la siembra. Para la conservación del pescado eviscerado se em-

plea hielo, cuanto más rápido se inicie el enfriado mayor será el tiempo de conservación, esto permitirá mantener la calidad y el valor nutricional de la carne, pensando sobre todo el consumidor.

2.1.1 Requerimientos físicos del agua para la cría de peces

Conductividad

Según OTCA (2016), la conductividad es una de las mejores medidas de la riqueza del agua y se mide por los iones disueltos en el agua. Se expresa en microhom/cm y se mide con el conductivímetro. Está directamente relacionada con la salinidad, que para agua dulce corresponde a la concentración de los iones disueltos que determinan la presión osmótica del agua a la que deben adaptarse las diferentes especies de peces. Gran parte de los sólidos disueltos se originan por el contacto del agua con las rocas y el suelo. La composición de minerales disueltos en el agua se debe al clima, geología local, topografía, biología del agua y al estado del tiempo. Los iones más frecuentes son calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonatos, sulfatos y cloruros.

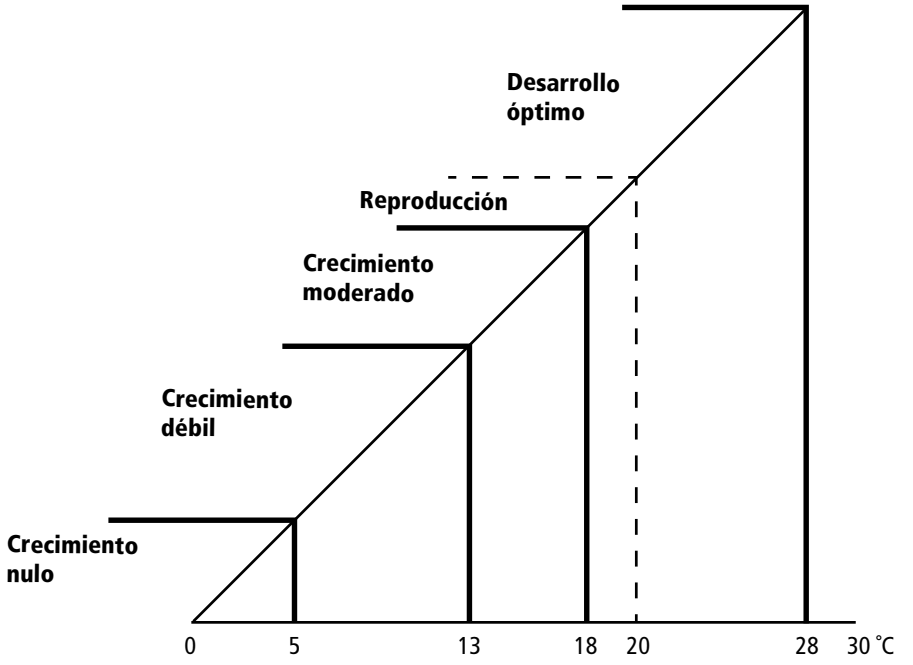
Según González-Legarda, *et al* (2018), un valor de conductividad eléctrica, CE menor a 280 µS/cm indica baja salinidad, por lo tanto, a diferencia de la temperatura y del oxígeno, la conductividad eléctrica es directamente proporcional a la profundidad, puesto que, a medida que la profundidad de la columna de agua aumenta, también se incrementan los valores de CE.

Temperatura

Según PROAIN (2019), el agua de un estanque se calienta durante las horas del día al recibir energía radiante del sol. EI calentamiento del agua ocurre en su superficie. En días con mucha insolación (días calientes), el agua superficial de los estanques puede alcanzar temperaturas encima de 35° C. Normalmente las aguas más profundas del estanque no se calientan tanto. Una temperatura de 35° C está por encima del límite de tolerancia para muchas especies acuáticas.

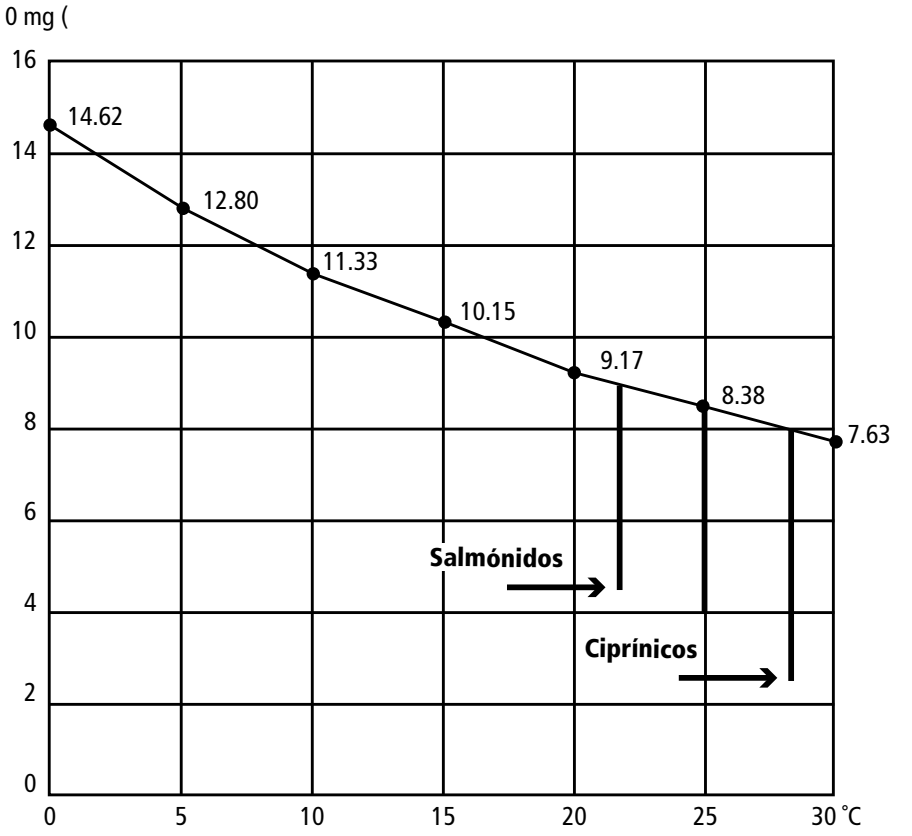
Para OTCA (2016), la influencia de la temperatura sobre los peces no es solamente directa porque rigen otros parámetros tales como la evaporación, la solubilidad de los gases y la actividad de los organismos desintegradores del fondo que transformen la materia orgánica en sustancias inorgánicas nutritivas. Cada especie acuática tiene límites de tolerancia a la temperatura más o menos amplios, aunque su desarrollo óptimo se da dentro de un rango más estrecho, como sucede con el crecimiento. En algunas especies de peces amazónicos, a mayor temperatura se produce mayor crecimiento y a menor temperatura se paraliza el crecimiento, como se muestra en el Gráfico 2:

Figura 2
Sistema de producción piscícola. Influencia de la temperatura en la concentración de oxigeno disuelto en el agua



Fuente: OTCA, 2016

Figura 3
Sistema de producción piscícola. Influencia de la temperatura en la concentración de oxígeno disuelto en el agua



Fuente: OTCA, 2016

Los peces no llegan a madurar ni a desovar si la temperatura del agua no es la adecuada. Las aguas calientes requieren temperaturas mayores a 20º C. Los ambientes donde suelen desovar los peces amazónicos (*Colossoma*, *Piaractus*, *Brycon*, *Prochilodus*, etc.), tienen temperaturas que varían entre 25º y 32 º C.

Según FONDEPES (2004), en cultivos de gamitana (*Colossoma macropomum)*, la temperatura adecuada oscila entre 25 y 30º C. Esta especie excepcionalmente

puede soportar hasta 34 º C por poco tiempo ya que puede presentarse mortalidad en los peces. Igualmente, temperaturas menores a 18º C también pueden ocasionar la muerte del animal. El incremento de la temperatura, acelera la actividad metabólica del pez, aumentando el consumo de oxígeno y mayor necesidad de alimento; por consiguiente, incrementa la eliminación de excretas, deteriorando de la calidad del agua por la elevada concentración de desechos tóxicos. Es recomendable registrar la temperatura a tempranas horas de la mañana (06:00 horas) para determinar el enfriamiento nocturno, y en horas del atardecer (18:00 horas) para valorar el calentamiento producido por los rayos solares.

Pereyra (2013) indica que la temperatura es uno de los parámetros más importantes, pues determina el crecimiento, reproducción y vida de los peces. Los peces de la Amazonia se desarrollan bien en un rango de temperatura de 20°C a 32°C; sin embargo, la temperatura óptima para el cultivo de gamitana, pacú y otros peces es de 26 a 30º C, excepcionalmente estos peces pueden soportar hasta 36º C, pero por poco tiempo. A exposiciones prolongadas y sobre los 36º C puede presentarse mortalidad de los peces. Los estanques con profundidades menores a 60 cm, tienden a calentarse rápidamente, en especial cuando llega la época seca.

Por su parte el IIFAP (2013), indica que un aumento de la temperatura de cultivo produce un incremento del metabolismo con el consecuente aumento de la tasa de respiración y, por tanto, del consumo de oxígeno. Aproximadamente por cada 10 º C de aumento de temperatura, la tasa de respiración se duplica. Lo más importante será evitar variaciones bruscas (más de 5 º C) para evitar el estrés en los peces que pudiera llevar a una reducción de las tasas de ingestión y a deprimir su sistema inmune.

Transparencia

Según OTCA (2016), la **transparencia** o claridad del agua permite mayor o menor penetración de la luz, factor indispensable para el desarrollo de los organismos verdes (algas), inicio de la producción biológica en el estanque. La turbidez del agua se debe al material, mineral u orgánico, en suspensión. Limita la penetración de la luz disminuyendo la transparencia y, por ende, la producción primaria. Sin embargo, la **turbidez** causada por el plancton es una condición deseada, al contrario de la producida por partículas en suspensión, como las de arcilla u otras

sustancias húmicas coloidales que pueden adosarse a las branquias, reduciendo la superficie respiratoria de las laminillas branquiales. Por otro lado, la turbidez afecta la habilidad de los peces para aprehender el alimento, perdiéndose en el fondo e incrementando a la vez el material orgánico, cuya descomposición exige mayor cantidad de oxígeno disuelto.

Un concepto útil en piscicultura es el "punto de compensación" o profundidad a la cual se encuentra el 1% de la luz incidente en la superficie del agua. Este punto limita la zona eufótica (capa superficial de un cuerpo de agua donde penetra suficiente luz para permitir que se produzca fotosíntesis, hasta una profundidad en que la intensidad de la luz disminuye a 1% de luz incidente) o zona productiva, en la cual la tasa de fotosíntesis excede a la tasa respiratoria, y que varía entre 0,5 a 1,0 m de profundidad.

Para FONDEPES 2004, la **transparencia** permite la mayor o menor penetración de la luz, factor indispensable para el desarrollo del fitoplancton, base del alimento natural dentro del estanque.

González-Legarda, *et al* (2018), encontraron que algunos factores químicos, físicos y biológicos, como la utilización de piensos, medicamentos y otros factores como las heces de los peces dentro de los cultivos, disminuyen la transparencia de la columna de agua. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por López, *et al*, (2008), quienes obtuvieron promedios de 3,81m en zonas sin influencia de cultivos acuícolas y 4 y 18 m en zonas de influencia de jaulas flotantes. Esto demuestra que la producción acuícola afecta negativamente la calidad del agua, debido a la concentración de sólidos disueltos por causa de la descomposición de materia orgánica proveniente del concentrado comercial, productos farmacéuticos y aditivos.

2.1.2 Requerimientos químicos del agua para la cría de peces

Alcalinidad, dureza y calcio

Según OTCA (2016), la **alcalinidad** se mide por la concentración de iones de carbonato y bicarbonato en el agua y se expresa en mg/l de carbono de calcio equivalente. Estos iones le confieren al agua una capacidad amortiguadora del pH, en

consecuencia, a mayor concentración de carbonato y bicarbonato el pH del agua se mantendrá más estable en valores altos. Al contrario, la baja alcalinidad facilita los cambios del pH en un perfil de 24 horas.

En piscicultura, la alcalinidad estaría generalmente entre 30 y 200 mg/l de $CaCO_3$ equivalente; aunque alcalinidades más altas o más bajas no perjudicarán en los cultivos. En piscicultura, las mejores aguas son las que tienen valores similares de **alcalinidad** y la **dureza**. Cuando existe mucha diferencia, el pH puede variar fuertemente, fundamentalmente subir a niveles altos durante la fotosíntesis. Se puede corregir estos parámetros; mediante el encalamiento cuando son muy bajos, pero es imposible bajar los niveles cuando están muy elevados.

Para Acuicultura Hoy (2013), la alcalinidad corresponde a la concentración total de bases en el agua expresada como mg/l de carbonato de calcio equivalente y está representado por iones de carbonato y bicarbonato. La capacidad amortiguadora del pH en el agua está dada por estos iones.

Según la misma fuente, la **dureza** total se define como la concentración de iones, básicamente calcio (Ca) y magnesio (Mg) y se expresa en mg/l de carbonato de calcio equivalente. Otros iones divalentes contribuyen a la dureza, pero son menos importantes.

Tabla 4
Sistema de producción piscícola
Clasificación del agua según su dureza

DUREZA (mg/l)	CLASIFICACIÓN
0 – 75	Blanda
75 – 150	Moderadamente dura
150 – 300	Dura
Mayor a 300	Muy dura

Fuente: Acuicultura Hoy, 2013

Por su parte, IIFAP (2013), a través de un análisis integral de los parámetros de calidad del agua en acuicultura, indica que el pH está estrechamente relacionado con las variables dióxido de carbono (CO_2) y alcalinidad. Los peces producen en-

tre 400 y 700g de CO_2, como producto de la respiración por kg de pienso ingerido. El CO2 es muy soluble en el agua, por lo que, en los Sistemas de Recirculación en Acuicultura, tenderá a aumentar su concentración. El CO_2 reacciona con el agua (H_2O) formando ácido carbónico (H_2CO_3), el cual liberará protones H+ bajando el pH. Lo más importante es evitar las variaciones de pH en el cultivo, lo cual se consigue mediante el mantenimiento de los valores de alcalinidad.

Según FAO y MAG (2011), la dureza se determina por la cantidad de minerales disueltos en el agua, que es lo que genera dureza general e indica la concentración de sales, especialmente de calcio (Ca) y de magnesio (Mg) disueltas en el agua. También se encuentran sales de otros metales, pero en concentraciones más bajas.

Para BERNADOLABS (2017), la alcalinidad amortigua el agua y evita los cambios súbitos del pH. Niveles de alcalinidad de 100 a 120 mg/l con pH entre 7 y 8, son reconocidos como los más favorables para una vida acuática de mayor variedad.

Respecto a los rangos aceptables de concentración para sustancias inorgánicas disueltas en agua de estanques de cultivo, Boyd (2015) señala que el calcio (ión de Ca^{2+}), debe estar entre 100 a 500 mg/l.

Cloruro, nitrito y amonio

Según BERNARDOLABS (2017), los efectos del cloruro se relacionan estrechamente con la salinidad total y su influencia sobre la capacidad del pez para absorber oxígeno. Los peces de agua dulce no toleran cambios súbitos de salinidad y para algunos peces, los niveles de cloruro mayores a 400 mg/l pueden ser perjudiciales. Cuando los niveles de nitrito tienden a ser elevados, el cloruro puede ser beneficioso. El cloruro se agrega a menudo a los estanques de bagres, para reducir la absorción de nitrito por estos peces.

Además, los nitritos son tóxicos para los peces y deben monitorearse muy de cerca, especialmente cuando el objetivo de producción se proyecta muy copioso.

La sangre parda es una enfermedad de los criaderos de bagres, causada por los altos niveles de nitritos que surgen cuando los niveles de cloro y oxígeno están

demasiado bajos. Los altos niveles de nitritos también afectan la disponibilidad de oxígeno, puesto que estimulan el desarrollo de plancton.

Según Pereyra (2013), el nitrito es otra forma de nitrógeno que puede estar disponible en el estanque de cultivo de peces. Su origen se debe a la oxidación del nitrógeno amoniacal y a la liberación desde el fondo, o a la descomposición de la materia orgánica disponible en el estanque. Los peces captan el nitrito a través de las branquias por difusión y al combinarse con la hemoglobina puede producir mortalidad de los peces por asfixia.

Para Obregón (2006), los peces y otros organismos acuáticos liberan nitrógeno como producto de su excreción, sea como amonio no ionizado (NH_3) o el amonio ionizado (NH_4). El primero es tóxico en el agua y a mayor Ph, mayor es su toxicidad.

Asimismo, a mayor pH el pez produce más amonio. El amonio total se origina como producto de descomposición de la proteína y como se sabe, en uno de los enlaces de los aminoácidos está el amonio, entonces, entre más proteína proporcionemos al pez, más amonio se produce y más se deteriora la calidad del agua.

El amonio no ionizado (NH_3) es transformado por bacterias *Nitrosomonas* a nitritos (NO_2) que también son tóxicos para los peces. Por su parte, la *Nitrobacter* transforma ese nitrito a Nitrato (NO_3) que no es tóxico para los peces en condiciones naturales, y la bacteria *Pseudomona denitrificans* convierte esos nitratos en N_2 que es gaseoso y se evapora. El N_2 pude entrar a aguas menos saturadas que la atmósfera, o puede dejar el agua si el proceso es contrario. Hay muchas fuentes del nitrógeno en el agua, no sólo el proveniente de los productos de excreción o el de difusión atmosférica, sino también por fijación de las cianobacterias (algas verde azules), o por descomposición de la materia orgánica (abonos, cadáveres, partículas orgánicas, restos vegetales).

Según HACH (2018), el amoníaco (NH3) y el amonio (NH4+) son diferentes formas de nitrógeno. El pH es el factor principal que determina la proporción de amoníaco en relación con el amonio en el agua. La actividad del amoníaco también es influenciada por la fuerza iónica y la temperatura. Es importante recordar que el NH3 no ionizado puede ser perjudicial para los microorganismos acuáticos, mientras que el amonio ionizado es prácticamente inocuo.

PROAIN (2019) indica que el amoniaco o el amonio no ionizado (NH3) es el producto principal del metabolismo de proteína en peces, crustáceos y otros organismos acuáticos. También las bacterias excretan NH_3 como producto de la descomposición de la materia orgánica en medios acuosos. En el agua, el amoníaco existe en dos formas: *i)* como iones de amoníaco (NH4+), que no son tóxicos y, *ii)* como amoníaco tóxico no ionizado (NH3). La proporción relativa de uno u otro depende de la temperatura del agua y el pH. Tan poco como 0,6 ppm (mg/l) de amoníaco libre (NH_3) puede ser tóxico para muchos tipos de peces y camarones, causando irritación de las branquias y problemas respiratorios.

Hierro

Según OTCA (2016) los peces requieren esencialmente de minerales para el metabolismo y el crecimiento. Los peces tienen la capacidad de absorber parte de los minerales requeridos directamente del agua a través de las branquias, o incluso a través de toda la superficie corporal. Este proceso es importante para la osmorregulación en los peces de agua dulce, pero también para su nutrición. Sin embargo, los minerales absorbidos del agua no satisfacen el requerimiento total, por lo que es necesario agregar minerales en la dieta. Asimismo, según Hepher (1988, *cit*. en OTCA, 2016), clasificó los elementos necesarios para los procesos metabólicos de los peces en tres grupos:

1. Estructurales: calcio, fósforo, flúor y magnesio son importantes para la formación de los huevos; sodio y cloro son los principales electrólitos del plasma sanguíneo y el líquido extracelular; azufre, potasio y fósforo son los principales electrólitos del líquido intracelular. En ese sentido, todos estos elementos son necesarios para la formación de tejidos.
2. Respiradores: en la hemoglobina, el hierro y el cobre son elementos importantes para la transferencia del oxígeno en la sangre.
3. Metabólico: muchos minerales son usados en cantidades vestigiales.

OTCA (2016) afirma que se ha determinado por experiencia que el calcio y el fósforo son minerales esenciales para los peces. La relación calcio/fósforo en las dietas debe ser de 3 a 5 g de calcio por 3 a 5 g de fósforo por kg de la dieta. El sodio y el potasio también se han considerado importantes, especialmente para los peces de agua dulce; se recomienda de 1 a 3 g/kilo de dieta.

Para Limy Klesius (2000) el hierro es esencial para el funcionamiento de órganos y tejidos de animales superiores, incluyendo peces, debido a su papel importante en el transporte de oxígeno y la respiración celular. Los peces pueden absorber hierro soluble del agua por la membrana branquial y la mucosa intestinal. Sin embargo, el alimento es considerado como la mayor fuente de hierro para los peces debido a las bajas concentraciones de hierro soluble en aguas naturales. La deficiencia férrica causa anemia hipocrómica microcítica, caracterizada por la disminución de hemoglobina, hematocrito, volumen corpuscular medio y hemoglobina corpuscular media.

Sandoval, Paredes y Ulloa (2015) indican que el hierro es un metal esencial para todos los organismos vivos y el segundo metal más abundante de la tierra, esencial para los glóbulos rojos de todo ser vivo. Su carencia produce anemia, sin embargo, cuando la concentración de hierro en el agua es demasiado alta, puede causar fuerte daño branquial a los peces, e incluso la muerte.

Boyd (2015), indica que el rango aceptable de hierro en estanques de cultivo, debe estar de 0,05 a 0,5 mg/l, como hierro total.

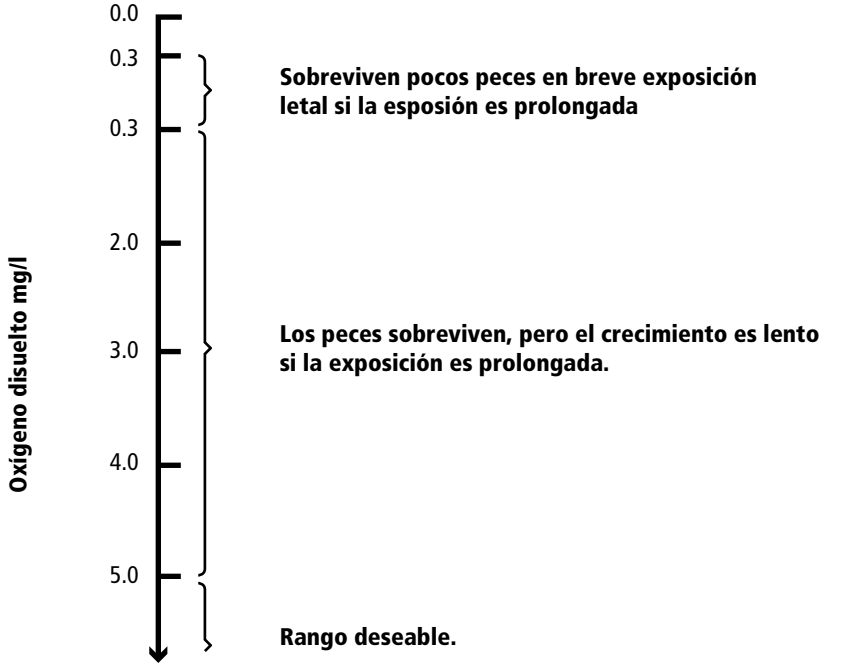
Oxígeno disuelto

Para OTCA (2016) el contenido del **oxígeno disuelto** en el agua de los estanques es, sin duda, el más crítico entre los factores de calidad del agua. Si no se mantiene en niveles apropiados en forma constante, los peces se afectan, no comen mientras las condiciones de baja concentración de oxígeno persistan y aun recuperando el nivel apropiado este comportamiento se prolonga por algún tiempo más, haciendo a los peces susceptibles a las enfermedades. Esto, por otro lado, eleva la tasa de conversión alimentaria y, consecuentemente, los costos de producción; o sea, se requiere mayor cantidad de alimentos para producir igual carne de pescado.

Si bien algunas especies, como las exóticas tilapias y las nativas gamitana y paco pueden tolerar niveles bajos de oxígeno disuelto, está demostrado que las funciones vitales se afectan cuando se registran tenores bajos de oxígeno disuelto en un período prolongado, dando como resultado la disminución o paralización de la tasa de crecimiento, lo que obviamente perjudica al piscicultor.

Cuando el nivel de oxígeno disuelto cae por debajo del rango normal, los peces suben a la superficie del agua, buscando tomar directamente el oxígeno atmosférico, para lo cual adaptan el rápido desarrollo del labio inferior que les facilita tomar más fácilmente el oxígeno. Este comportamiento es fácil de comprobar entre 5-7 am, cuando casi todos los peces "boquean" al mismo tiempo.

Figura 4
Sistema de producción piscícola
Efecto de la concentración de oxígeno disuelto en peces de agua caliente en cultivo



Fuente: OTCA, 2016

OTCA (2016) considera que una concentración de oxígeno disuelto menor a 5,0 mg/l es indeseable para peces de agua caliente (Gráfico 4), aunque soportan la supervivencia a menores concentraciones, siempre que el nivel de dióxido de carbono libre sea también bajo. Sin embargo, es siempre dañina para el pez la exposición prolongada a bajos niveles de oxígeno disuelto.

Por su parte el IIFAP (2013) indica que, al ser sistemas vivos, los Sistemas de Recirculación para la Acuicultura Marina necesitan oxígeno no solamente para la respiración de los peces, sino también para la de las bacterias del biofiltro que oxidan los desechos nitrogenados que producen los peces. Por ello, es importante asegurar una concentración de oxígeno adecuada para los peces y para el mantenimiento del biofiltro.

El oxígeno es la variable que más rápidamente oscila en el sistema, pudiendo pasar de niveles óptimos a niveles letales (< 2 mg/l) en cuestión de horas. Los peces necesitan oxígeno para asimilar el alimento, de modo que niveles bajos (2-3 mg/l) provocarán menores tasas de conversión del alimento y, por lo tanto, menor crecimiento. Uno de los primeros efectos que se observan ante niveles bajos de oxígeno es el cese de la natación y la alimentación. En la situación opuesta, niveles sobresaturados de oxígeno (> 140% de saturación) pueden provocar la enfermedad de la burbuja.

Respecto a la relación del oxígeno con otras variables, IIFAP (2013) menciona que, a mayor temperatura, habrá menos oxígeno disuelto en el agua. Además, durante la alimentación, los peces aceleran su metabolismo y, por tanto, incrementan su consumo de oxígeno. La concentración de 02 también es en el funcionamiento del biofiltro, ya que las bacterias necesitan al menos 2 ppm de 02 para realizar la nitrificación.

Para Acuicultura Hoy (2013), el oxígeno disuelto en el agua es el parámetro más importante de calidad del agua. Su déficit afecta el crecimiento y la conversión alimenticia de los peces y demás organismos acuáticos. Por tanto, deben considerarse los siguientes aspectos:

- El oxígeno se disuelve en el agua por difusión desde la atmósfera (por vientos o medios artificiales) y por la fotosíntesis.
- Los organismos consumen del agua por la respiración, proceso inverso a la fotosintésis.
- El oxígeno que se produce durante el día, a través de la fotosíntesis, es removido del agua por la demanda respiratoria de los animales y las plantas.
- En la noche, tanto plantas como animales continúan respirando sin que haya nuevos aportes de oxígeno al agua; de ahí los críticos niveles de oxígeno en

los estanques en las horas de la madrugada, cuando no se dispone de una entrada de agua fresca que corrija tal situación.

- El oxígeno también se remueve del agua como resultado de ciertas reacciones químicas inorgánicas, lo que se conoce como demanda química de oxígeno, DQO.
- La saturación de oxígeno disuelto depende de la temperatura, la salinidad y de la altitud del agua.

Asimismo, la concentración de oxígeno en un estanque puede variar de acuerdo a las siguientes características:

- Iluminación solar; sin la que no es posible la fotosíntesis y, por consiguiente, la producción de oxígeno.
- A mayor temperatura del agua es más rápido el proceso de degradación de la materia orgánica, lo que produce mayor consumo de oxígeno.
- Cantidad de fitoplancton que libera oxígeno durante el día y se consume por las noches.
- Cantidad de zooplancton y otros organismos que consumen oxígeno durante el día y la noche.
- Materia orgánica y población bacterianas que consumen grandes cantidades de oxígeno entre la capa superficial y la columna de agua.
- La producción de oxígeno es menor en los días nublados.
- Al crear olas y turbulencia en el agua, el viento permite el intercambio de oxígeno entre la capa superficial y la columna de agua.

Finalmente, las fluctuaciones regulares de oxígeno disuelto en un estanque durante un día, son las siguientes:

- Los niveles más bajos de oxígeno se presentan en las primeras horas de la madrugada y la mañana e incrementan a medida que es mayor la intensidad solar.
- Los niveles máximos de oxígeno se presentan en las primeras horas de la tarde y disminuyen gradualmente en el ocaso, en relación a en con la intensidad de luz.

- Es común observar en los estanques densos florecimientos de plancton como una nata de algas en la superficie, que, al morir repentinamente en su proceso de descomposición, consumen gran cantidad de oxígeno. Por esto debe tenerse la precaución de remover del estanque todo tipo de materia orgánica en descomposición, para no comprometer la disponibilidad de oxígeno disuelto.

Para Agrotendencia (s.f.) los rangos más altos de oxígeno se presentan en estanques con elevada producción de fitoplancton durante el día, como resultado de la fotosíntesis. Pero en la noche, debido al proceso inverso, la abundante comunidad fitoplanctónica consume para sí el oxígeno del agua, liberando dióxido de carbono (CO2).

El pez cachama (*Colossoma macropomum*) compensa la falta de oxígeno desarrollando el labio inferior lo que le facilita captar el oxígeno de la capa superficial del agua, rica en este elemento. Para corregir la baja concentración de oxígeno disuelto en el agua, se recurre a incrementar el flujo del agua hacia el estanque.

Ph

IIFAP (2013) indica que el pH es la variable que mide la concentración de protones (iones H+) en el agua y afecta a numerosos procesos biológicos. En una escala de 0 a 14, los peces pueden tolerar un rango de pH entre 6 y 9,5. Al tratarse de una escala logarítmica, es muy importante controlar los niveles de pH en el cultivo para el bienestar de los peces, ya que, pequeños cambios de pH supondrán grandes cambios en la concentración de protones. Por ejemplo, un pH 6 tiene 10 veces más protones que un pH 7 y 100 veces más que un pH 8.

En términos prácticos, el pH mide el grado de acidez y alcalinidad del agua y se mide en una escala de 1 a 14. La mayoría de aguas naturales tienen un pH que varía entre 5 y 10. Durante el día los vegetales acuáticos usan el dióxido de carbono del agua para la fotosíntesis, a la vez, plantas y animales liberan en el agua dióxido de carbono producido por la respiración, que es usado rápidamente por las plantas acuáticas, incrementándose el pH. Pero la figura se invierte en la noche en que la fotosíntesis es nula, en tanto que la respiración continúa produciendo dióxido de carbono, lo que hace bajar el pH a su mínimo en las primeras horas de la mañana.

Acuicultura Hoy (2013), indica que la estabilidad del pH se establece por la llamada "reserva alcalina" o sistema de equilibrio (tampón) que corresponde a la concentración de carbonato o bicarbonato. Los extremos letales de pH para la población de peces en condiciones de cultivo, están por debajo de 4 y por encima de 11. Además, cambios bruscos de pH pueden causar la muerte. Las aguas ácidas irritan las branquias de los peces, las cuales tienden a cubrirse de moco, llegando en algunos casos a la destrucción histológica del epitelio. La sobresaturación de dióxido de carbono acidifica mucho el agua causando alteraciones en la osmo regulación y acidificando la sangre.

Pereyra (2013) indica que el pH es un factor que indica el grado de acidez o alcalinidad del agua de los estanques. Las aguas en la Amazonia, por lo general, son ligeramente acidas y esto se debe a la característica del suelo, que también es acido o ligeramente acido. Los aguajales y las quebradas, que nacen al interior del bosque, normalmente tienen una coloración negruzca debido al alto contenido de materia vegetal en descomposición. Esta agua es ácida y presenta niveles de pH entre 5,0 y 6,0. El agua de los estanques es más productiva cuando presenta niveles de pH cercanos al neutro. Por esta razón, cuando se desea mejorar la productividad, el mejor método para corregir niveles bajos del pH es el encalamiento del fondo del estanque o del agua misma.

2.1.3. Análisis integrado de los parámetros de calidad del agua en piscicultura

Respecto de la calidad del agua para engorde de cachama (*Colossoma macropomum*), Agrotendencia (s.f.), indica que debe presentar las siguientes características:

- Temperatura óptima: 24-29 ºC.
- pH: 6.5 - 8.5. Óptimo es 7.0 para buena producción de plancton.
- Oxígeno disuelto: mayor de 3 mg/litro en el agua para el normal desarrollo del cultivo.

- Alcalinidad: mayor de 20, ideal 60 mg/litros equivalentes a Carbonato de Calcio, importantes en la regulación del pH, producción de fitoplancton, producción de oxígeno y turbidez adecuada para el cultivo.
- Dureza: mayor de 20 mg/litro.
- Compuestos nitrogenados (nitritos, nitratos y amonio) < 0.1 mg/l.

Por su parte FAO y MAG (2011) señala que los indicadores de calidad del agua deben estar dentro de los niveles apropiados para los peces, a fin de garantizar la respuesta biológica de las especies de peces que se desea. Los principales parámetros se detallan en la siguiente Tabla 5:

Tabla 5
Paraguay. Intervalos deseados de los parámetros de calidad del agua para la producción de peces en la piscicultura

PARÁMETROS	NIVELES DESEABLES
Temperatura	20 a 28 ° C
Oxígeno disuelto	3 a 8 mg/l
CO2	5 a 10 mg/l
pH	6,5 a 8,5
Amonio no ionizado (NH3)	< 0,1 mg/l
Nitrito	0,1 a 0,3 mg/l
Dureza	20 a 30 mg CaCO3/l
Transparencia	20 a 55 cm

Fuente: FAO y MAG, 2011

El registro de estos parámetros en los estanques de cultivo debe ser permanentemente. Uno de los factores que más afecta al cultivo es la variación diaria del oxígeno disuelto, que alcanza valores mínimos en las primeras horas de mañana, afectando la ingestión de alimentos por parte de los peces, y consecuentemente su metabolismo y crecimiento.

Tabla 6
Paraguay. Síntomas, probables causas y medidas correctivas de manejo en peces en estanques de cultivo

SÍNTOMA CONDUCTA	PROBABLES CAUSAS	MEDIDAS CORRECTIVAS PRACTICAS	OBSERVACIONES
Peces boqueando en la superficie	Falta de oxígeno en el agua u oclusión de branquias	Recambio inmediato de al menos 50% del agua Suspender la alimentación	Analizar la calidad del agua (amonio, nitrito), analizar branquias de peces en búsqueda de algas toxicas o parásitos
Peces concentrados en la entrada de agua	Falta de oxígeno en el agua, temperatura elevada en el agua	Recambio inmediato de al menos 50% del agua Suspender la alimentación	Medir temperatura del agua, analizar calidad del agua (amonio, nitrito)
Peces con opérculo (agallas) abiertas flotando	Niveles elevados de nitrito o amonio, parasitosis, presencia de algas filamentosas, exceso de alimento en polvo	Recambio inmediato de al menos 50% del agua Suspender la alimentación	Analizar la calidad del agua (amonio, nitrito), analizar branquias de peces en búsqueda de algas toxicas o parásitos
Peces con ojos saltones	Sobre saturación de oxígeno en el agua	Recambio gradual del agua del estanque para eliminar algas, suspensión de toda agitación, disminución de nivel en 20% (a mayor temperatura menor concentración de oxígeno)	Revisión clínica de peces con exoftalmia (ojos saltones) en búsqueda de parásitos
Algas en forma de hilos verdes (filamentosas)	Niveles de amonio elevado, cambio drástico de pH por lluvias	Recambio brusco de agua (>50%); adición de cal	Medición de pH, amonio, nitrito.
Peces con agallas negras o deshilachadas	Elevados niveles de nitrito y amonio	Recambio brusco de agua (>50%) con agitación (a chorro). Ingreso de agua nueva al fondo para mezclar.	Medición de pH, amonio, nitrito.

Mal olor del agua	Bajo recambio de agua, acumulación de alimento no consumido en el fondo, falta de oxígeno en fondo, posible mortalidad en capas inferiores	Recambio brusco de agua (>50%) con agitación (a chorro). Ingreso de agua nueva al fondo para mezclar. Adición de cal Ajustar el suministro de alimento	Revisión del lodo del fondo (medir su pH, detección de olor a azufre o huevo descompuesto) Detección de alimento no consumido.
Transparencia del agua < 30 cm	Exceso de abonado, desprendimiento de tierra de los bordes	Recambio gradual de al menos 20% del agua Revisión de bordes	

Fuente: FAO y MAG, 2011

2.1.4. Requerimientos biológicos del agua para la cría de peces

Prieto (2006) indica que el plancton constituye un renglón básico en el desarrollo de la acuicultura. Se trata de un componente muy importante y de gran definición de las características y fertilidad del ambiente acuático. La presencia de estos organismos en el agua determina su calidad y establece una relación directa para el buen desarrollo de las especies en cultivo. El alimento vivo (fitoplancton y zooplancton) es esencial durante el desarrollo larvario de peces, crustáceos y moluscos, convirtiéndose así en factor importante para el desarrollo de la actividad acuícola.

En las últimas décadas se ha tratado de sustituir los alimentos vivos por dietas micro encapsuladas con resultados poco alentadores para la mayoría de las especies. Así mismo se ha tratado de implementar técnicas de almacenamiento mediante congelación o liofilización de estos alimentos por tiempo indefinido. Pero, en términos generales, resultan incosteables y no resuelven el problema de la demanda constante de alimento vivo.

Fitoplancton

Herrera (2012) establece la relación de la transparencia del agua con la presencia del fitoplancton.

Tabla 7
Relación entre la visibilidad del Disco de Secchi y la condición del "Bloom"de fitoplancton

LECTURA DEL DISCO DE SECCHI (CM)	COMENTARIOS
Menor de 25	Estanque demasiado turbio. Si es turbio por fitoplancton, habrá problemas de concentración baja de oxígeno disuelto. Cuando la turbidez resulta por partículas suspendidas de suelos, la productividad será baja.
25 – 30	Turbidez llega a ser excesiva.
30 – 45	Si la turbidez es por fitoplancton, el estanque está en buenas condiciones
45 – 60	Fitoplancton se vuelve escaso.
Mayor de 60	El agua es demasiado clara. La productividad es inadecuada y pueden crecer plantas acuáticas

Fuente: Herrera, 2012

Para FAO y MAG (2011), el agua destinada a la acuicultura debe mantener la concentración adecuada de nutrientes para promover la productividad primaria (alimento natural basado en fitoplancton). Al mismo tiempo debe ser apta para que los peces se desarrollen adecuadamente. Dos formas prácticas de promover la productividad primaria, son el encalado y el abonado o fertilización:

1. Encalado: los estanques construidos en suelos ácidos o bajos en alcalinidad (concentración de carbonatos en el agua), generan aguas con características que no favorecen el florecimiento del fitoplancton, al tiempo que pueden inducir estrés ácido a los organismos en cultivo. En ese sentido, se requiere incorporar cal en los estanques de acuicultura. Por tanto, se considera importante analizar el agua para determinar el nivel de dureza y alcalinidad para decidir si es conveniente la incorporación de cal al cuerpo de agua.
2. Abonado o fertilización: consiste en incorporar nutrientes en el medio acuático para favorecer la producción biológica y potenciar la cadena alimenticia en los estanques. En acuicultura se utilizan dos tipos de abono, el orgánico y el químico. Cuando se utiliza el orgánico (estiércol de aves, de cerdos y de bovinos) la adición de carbono, fosfatos y nitratos que se liberan de los estiércoles,

incrementan la disponibilidad de nutrientes necesarios para la fotosíntesis y el incremento de alimento natural para los peces.

Ramírez (2014) menciona que en muchas aguas existe una relación directa entre la visibilidad del Disco de Secchi y la abundancia de plancton la visibilidad disminuye. Sin embargo, a veces la turbidez es causada por partículas suspendidas de arcilla o detritus, y no por la cantidad del fitoplancton.

Según Boyd (2017), la abundancia de fitoplancton suele ser alta en los estanques acuícolas debido a las altas concentraciones de nutrientes de los fertilizantes o alimentos. El fitoplancton absorbe los nutrientes del agua para crecer y elimina el nitrógeno amoniacal del agua, lo cual es particularmente importante para disminuir las concentraciones de este metabolito potencialmente tóxico. No hay medidas eficaces para prevenir la alta abundancia de fitoplancton en estanques que reciben grandes aportes de nutrientes. A tasas de alimentación por encima de 30 kg/ha/día, el agotamiento nocturno de oxígeno disuelto a menudo se convertirá en un factor limitante. Para tilapia y algunas otras especies, es posible usar mayores tasas de alimentación diaria en estanques sin aire.

Para Kubitza (2017), el fitoplancton produce oxígeno y remueve el gas carbónico del agua durante el día (vía fotosíntesis), absorbe el amoníaco (usado como fuente de nitrógeno), impide el desarrollo de plantas y algas filamentosas en el fondo de los estanques (disminuye la luz y compite por los nutrientes); además de servir de alimento natural para algunas especies de peces (por ejemplo, la tilapia). Sin embargo, cuando se encuentra en exceso (agua muy verde) puede causar déficit de oxígeno durante las madrugadas. Sin luz, la comunidad fitoplanctónica no produce oxígeno (no habrá fotosíntesis), pero continúa consumiéndolo.

El fitoplancton consume de 3 a 4 veces más oxígeno de lo que toda la población de peces puede consumir en un estanque. Además de consumir oxígeno, también aporta grandes cantidades de gas carbónico, que puede alcanzar niveles críticos (por encima de 20 mg/l) en las primeras horas de la mañana, especialmente en estanques con agua de baja alcalinidad total.

Si algunas microalgas del grupo de las cianofíceas (cianobacterias o algas azules) se encuentran en excesiva cantidad en el agua, pueden causar irritación en las branquias y toxicidad en los peces. Esto puede perjudicar o reducir el apetito y dis-

minuir el crecimiento de los animales, favoreciendo la presencia de enfermedades. La mortalidad crónica y los problemas de mal sabor en los peces (*off-flavor* o gusto extraño, como el gusto a barro, u olor), se producen comúnmente en estanques por exceso de algas cianofíceas. La abundancia de fitoplancton puede determinarse indirectamente por la transparencia del agua, medida con el Disco de Secchi.

Zooplancton

Según INFOZOA (2014), la palabra Zooplancton viene del griego *zoon*, que significa animal, y *planktos*, que significa vagando. Este término se refiere a un grupo de animales que divagan en la columna de agua y que no tienen la capacidad de natación suficiente para contrarrestar las corrientes. Aunque su movimiento está principalmente determinado por las corrientes, muchos de ellos tienen cilios, flagelos, pseudópodos u otras estructuras anatómicas que les brindan una pequeña capacidad de locomoción.

Martínez, *et al* (2010), indican que el zooplancton en estanques acuícolas puede ser promovido de diversas maneras; una de las más usuales es la fertilización inorgánica u orgánica para promover, en primera instancia, a los productores primarios autótrofos (especialmente microalgas), u heterótrofos (principalmente bacterias) y, en base a ello, la productividad de otros organismos superiores en la cadena trófica como es el caso del zooplancton.

El zooplancton está formado por muchos tipos de organismos, la mayoría de estos tienen ciclo de vida corto, con una respuesta rápida en relación con cambios en el entorno, tales como el cambio climático (temperatura, viento), concentración de nutrientes, pH, entre otros factores. Así, la composición de especies del zooplancton y su abundancia pueden cambiar por las variaciones en el medio y pueden ser muy útiles como indicador biológico para la evaluación de la calidad del agua, mostrando, por ejemplo, variaciones en la comunidad en relación con el grado de eutrofización.

La composición del zooplancton depende de factores abióticos como la salinidad, temperatura y UV, y factores bióticos como presencia y tipo de fitoplancton y bacterias (Coman, Conolly y Preston, 2003).

En su tesis de grado, titulada “Comunidades de fitoplancton y zooplancton en sistemas productivos piscícolas en Veracruz”, Rivera (2016) encontró una abundancia promedio para fitoplancton y zooplancton de 16,08 ind/ml. Con respecto a lugares de muestreo, la mayor abundancia se presentó en los estanques de producción con un promedio de 28,53 ind/ml, seguido de captaciones (afluentes) con 11,95 ind/ml y una menor abundancia en receptores (efluentes) con 7,75 ind/ml. En este estudio se identificaron 13 géneros de zooplancton, siendo los más abundantes *Navicula*, *Prorocentrum*, *Paramecium* y *Cyclotella*.

Coliformes

Con carácter provisional, Mora (2014), presenta criterios microbiológicos del agua, respecto a coliformes termo resistentes y estreptococos fecales (ver Tabla 8).

Mora también señala que los muestreos tienen que ser mensuales; y se debe utilizar la técnica de NMP/100 ml y FM/100 ml. Además, que los coliformes totales se han utilizado tradicionalmente, para evaluar todo tipo de aguas. Sin embargo, sus deficiencias como indicador de contaminación fecal, lo hace poco prácticos para utilizarlos en aguas no tratadas, como ríos, mar, hielo y piscinas. Los coliformes totales se deben utilizar en la evaluación de aguas tratadas para consumo humano y aguas envasadas.

Tabla 8
Sistema de producción piscícola.
Criterios microbiológicos de aguas usadas en acuicultura

INDICADOR 100 ml	PISCICULTURA	CULTIVO DE CAMARONES	CULTIVO DE ALMEJAS
Coliformes termorresistentes	1000	100	4
Estreptococos fecales	100	80	23

Fuente: Mora, 2014

2.2 Cambio climático y piscicultura

Desde el siglo XVIII, aproximadamente, las actividades humanas han generado subproductos que alteran los sistemas naturales y el clima, con un efecto neto de calentamiento del planeta. La progresiva destrucción de la cubierta vegetal (bosques) y la masiva emisión de gases de efecto invernadero por el uso de combustibles fósiles como el petróleo, son las principales causas de esta alteración.

Adicionalmente, la ganadería contribuye a esto mediante la producción y emisión de metano. Estos gases de efecto invernadero, especialmente el CO2, se están acumulando en la atmósfera a una velocidad mayor que la capacidad de asimilación del planeta y están provocando el aumento de la temperatura media de la Tierra. Se estima que el 70 por ciento de la acumulación de estos gases en la atmósfera se ha producido en los últimos 30-40 años (IPCC, 2007).

El cambio climático, según los pronósticos más recientes, afectará negativamente la producción de alimentos en general. No obstante, los efectos del cambio climático sobre la producción de peces comestibles han recibido, hasta ahora, escasa atención en comparación con todos los demás sectores productivos primarios. De hecho, el sector pesca se menciona sólo una vez en el *Informe de síntesis* del IPCC (2007) refiriéndose a la circulación de retorno meridional atlántica, e indicando que es probable que ocurran cambios en la productividad ecosistémica y en la pesquería en general.

La modificación más notables y significativas para la pesca y la acuicultura, asociada con el cambio climático, es el aumento gradual de la temperatura mundial media, lo que ha sido ampliamente documentado (IPCC, 2007). Existe cierto consenso en que el planeta se calentará hasta en 1,1 ^{o} C durante este siglo, pero si las concentraciones de gases de efecto invernadero siguen aumentando al ritmo actual, el incremento de la temperatura media puede alcanzar 3^{o} C. Incrementos de estas magnitudes tendrán importantes efectos sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas afectando las condiciones de vida de gran parte de la humanidad.

Según Soto y Quiñones (2013), el cambio climático global conlleva, además del incremento de la temperatura media del planeta, una serie se otras alteraciones potencialmente dañinas para la pesca y la acuicultura, tales como:

1. Cambios en temperatura del mar a nivel local
2. Acidificación del océano
3. Aumento en el nivel del mar
4. Cambios en la concentración de oxígeno ambiental
5. Incremento en la severidad y frecuencia de tormentas
6. Cambios en los patrones de circulación de corrientes marinas
7. Cambios en los patrones de lluvia
8. Cambios en los caudales de ríos
9. Cambios en flujos biogeoquímicos (nitrógeno)

Sobre el impacto ambiental de la actividad acuícola Rabassó (2006) señala que depende en gran medida de la especie, el método de cultivo, la densidad del *stock*, el tipo de alimentación y las condiciones hidrográficas. Los impactos ambientales se producen tanto en la columna de agua como en el fondo marino y sus efectos pueden ser físicos, químicos y biológicos.

2.3. Valor nutricional del pescado

Según Avdalov (2014), una alimentación saludable y equilibrada que brinde beneficios para la salud, requiere de gran variedad de alimentos, con abundante fibra y baja ingesta de grasas. En este sentido, el pescado es un alimento apto para todas las edades, de fácil digestión ya que tiene poco colágeno y reducido porcentaje de grasas. Además, sus proteínas tienen aminoácidos, vitaminas y minerales esenciales que el organismo no puede sintetizar (Tabla 9).

Tabla 9
Sistema de producción piscícola.
Constituyentes del músculo del pescado

CONSTITUYENTE	PESCADO (FILETE)		
	MÍNIMO (%)	MEDIA (%)	MÁXIMO (%)
Proteínas	6	16 – 21	28
Lípidos	0,1	02 – 25	67
Carbohidratos		Menor que 0,5	
Cenizas	0,4	1,2 – 1,5	1,5
Humedad	28	66 – 81	96

Fuente: Avdalov, 2014

Como regla general, podemos decir que el nivel de proteína puede presentar mayor variabilidad en la constitución del pescado. Los valores representados en la Tabla 9, incluyen máximos y mínimos, es decir, casos extremos, lo normal y lo frecuente son los valores ubicados en la columna media, lo que indica que la carne de pescado tiene mejor valor proteico en relación a la carne de pollo y la de cerdo (Avdalov, 2014).

2.4 Beneficios de la piscicultura

2.4.1. Beneficios del consumo de pescado

La carne de pescado es una fuente de proteína de alta calidad, similar al pollo y superior a la de la carne roja. Las proteínas del pescado contienen todos los aminoácidos esenciales, y al igual que las proteínas de la leche, los huevos y la carne de mamíferos, tienen un valor biológico muy alto.

El pescado eviscerado contiene cerca de 30% menos de grasa que las carnes rojas. Estudios científicos han demostrado que las dietas a base de pescado en el ser humano reducen los niveles de colesterol en la sangre. Esto se debe a que los lípidos de los peces difieren de los de los mamíferos en que están compuestos por ácidos grasos de

cadena larga, con un alto grado de insaturación (FAO, 1999). En la actualidad está ya establecido que el incremento del consumo de pescado se asocia con la disminución de la mortalidad y la morbidez ocasionadas por enfermedades cardiovasculares y problemas coronarios. Esto se debe al efecto beneficioso sobre la salud humana de los ácidos grasos altamente in-saturados (n-3 HUFA), de los que los peces son una importante fuente para consumo, sobre todo los marinos.

La piscicultura es un rubro dirigido a la seguridad alimentaria, ya que la carne de pescado constituye una fuente alternativa de proteínas y minerales para la alimentación, porque proporciona todos los compuestos necesarios para una dieta sana, fácil de digerir y exenta de colesterol (CIPCA, 2020a).

2.4.2. Beneficios económicos (Estudio de Viabilidad Económica)

Según CIPCA (2020a), la piscicultura aporta en la generación de oportunidades de empleo, promoviendo la diversificación de los ingresos económicos de las familias campesinas e indígenas. Además, asegura la participación activa del núcleo familiar al convertirse en unidad económica y la integración con operadores privados y públicos.

Este estudio muestra un análisis completo para la implementación de dos pozas piscícolas, detallando las inversiones, depreciación, costos fijos, costos variables, margen de contribución, punto de equilibrio, costo unitario de producción.

El resultado es un ingreso de Bs 60.000 por la venta de 2.400 kg de pescado, donde el costo total de producción de todo el ciclo es de Bs 38.582,16, logrando generar una ganancia neta de Bs 21.417,84, lo que hace a este rubro muy rentable y atractivo para el productor. Eso se demuestra en que entre las gestiones 2014-2018, la piscicultura en la provincia Guarayos, ha tenido un crecimiento acelerado a nivel familiar y mancomunado.

2.4.3. Beneficios sociales y culturales

Este rubro productivo ha evolucionado en Bolivia, y en estos últimos años tomó un importante dinamismo en la provincia Guarayos. Así, en el período 2019 y

2020 se estima una oferta de pescado de las especies pacú y tambaquí, de 50.000 kg de carne de pescado. De esta oferta, 72% corresponde a iniciativas familiares campesinas, mostrando que han superado la etapa de aprendizaje y ahora incursionan en niveles más comerciales asumiendo de manera independiente las inversiones y los costos productivos de todo el ciclo productivo, así como de la comercialización (CIPCA, 2020a).

La cadena piscícola del municipio de Ascensión de Guarayos está compuesta básicamente por proveedores, productores y consumidores. También existen instituciones que intervienen de forma activa en el desarrollo de la cadena piscícola, como CIPCA, el Gobierno Municipal de Ascensión de Guarayos, el Servicio Departamental Agropecuario, SEDAG, dependiente de la Gobernación de Santa Cruz y la Universidad Indígena de Bolivia, UNIBOL, las que, de varias maneras, aportan en el desarrollo de las actividades piscícolas en la zona, principalmente las de los productores locales. Asimismo, existen instituciones financieras que han abierto líneas de crédito para los productores, pero también pueden apoyar a los proveedores.

Culturalmente, la carne de pescado forma parte de la dieta de las familias indígenas guarayas, pero en los últimos tiempos la población de peces se ha reducido considerablemente. Esto se debe a diferentes presiones ejercidas sobre los ecosistemas y principalmente en las cabeceras de los ríos, como la actividad minera con la extracción de coltán, oro y otros. Estas actividades ponen en riesgo la existencia de los peces y, por consiguiente, la alimentación de las familias de la zona. En este sentido la cría de peces en pozas piscícolas es una alternativa de producción sostenible, que además puede traer otros beneficios como ser:

1. Las organizaciones de productores piscícolas están articuladas en torno a la producción piscícola, exigiendo que los municipios, así como las instituciones públicas y privadas, apoyen en la implementación de innovaciones tecnológicas para incrementar la producción, así como nuevas pozas para la producción.
2. Permite la generación de nuevos empleos.
3. La piscicultura es una actividad liviana y que fácilmente pueden atender las mujeres y los niños.
4. La piscicultura permite tener utilidades a mediano plazo.

5. Contribuye a disminuir los impactos ambientales de la pesca en los ríos.
6. Contribuye a la seguridad alimentaria de las familias de toda la provincia Guarayos.

2.4.4. Beneficios ambientales

Según CIPCA (2020a), la pesca extractiva se identifica claramente como selectiva y se basa en la captura de pocas especies y, como consecuencia, disminuye la población de algunas especies como pacú, tambaquí y surubí y otras especies comerciales (Martínez, L., 2018). Al ofertar especies comerciales, la piscicultura disminuye la presión de la pesca, contribuyendo a aminorar los impactos ambientales causados por la pesca extractiva.

En la actualidad, el sistema de producción agropecuaria del pequeño agricultor, es de corte y quema lo que ocasiona graves daños a los microorganismos del suelo, contaminación del aire con el humo y el desmonte constante que ocasiona desequilibrio ecológico de gran envergadura. Por el contrario, la piscicultura es un rubro que se realiza en pequeña superficie de terreno, no ocasiona daño alguno a ningún recurso natural, menos al medio ambiente, siendo una de las mejores alternativas de producción de los recursos naturales (Martínez, L., 2018).

En Bolivia, el consumo *per cápita* de carne de pescado por año es 1,94 kg, en comparación con la carne de bovino que es de 21,17 kg, lo que significa que se necesita mayor superficie para la producción de carne bovina, tomando en cuenta la carga animal. En la zona del Chaco se necesitan 13 hectáreas de pastura por cabeza de ganado debido a las condiciones de ramoneo; en el Beni, se precisan 15 hectáreas por cabeza, porque son pasturas abiertas, y en la zona de la Chiquitanía, donde hay pasturas cultivadas, se puede criar hasta 2 cabezas por hectárea.

La producción de carne de pescado es una alternativa sostenible, ya que requiere menos superficie comparada con la actividad ganadera, donde una hectárea tiene una capacidad de producción de aproximadamente 4.000 kg de pescado en 8 a 12 meses.

Otra ventaja de la acuicultura es la simultaneidad con otras producciones dentro de un mismo establecimiento. Puede utilizarse el agua de los estanques para la

limpieza de corrales, así como para el riego de plantaciones, las que a su vez podrán ser utilizadas como alimento de los animales de granja. Por otra parte, el limo acumulado en el fondo de los estanques constituye un excelente abono para la huerta. Esta actividad permite diversificar el uso de los espejos de agua y la utilización de tierras no aptas para la agricultura. Un buen ejemplo es el cultivo integrado de arroz y peces. Este sistema se utiliza ampliamente en países asiáticos y se ha extendido a otros continentes. Se basa, generalmente, en el cultivo extensivo de diferentes especies de peces entre las que se destaca la carpa (*Cyprinus carpio*) y la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) en los canales de irrigación (FAO, 2006).

Se debe considerar que, en general, los peces, moluscos y crustáceos presentan índices o valores de conversión más elevados que los animales terrestres. Esta cualidad se debe principalmente al bajo consumo de energía para el mantenimiento de sus funciones vitales (respiración, locomoción y excreción, entre otras) lo que permite destinar mayor porcentaje del alimento consumido al crecimiento, significando una mayor producción de carne.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Monitoreo del crecimiento de peces.
Foto: CIPCA Santa Cruz

3.1 Área de estudio

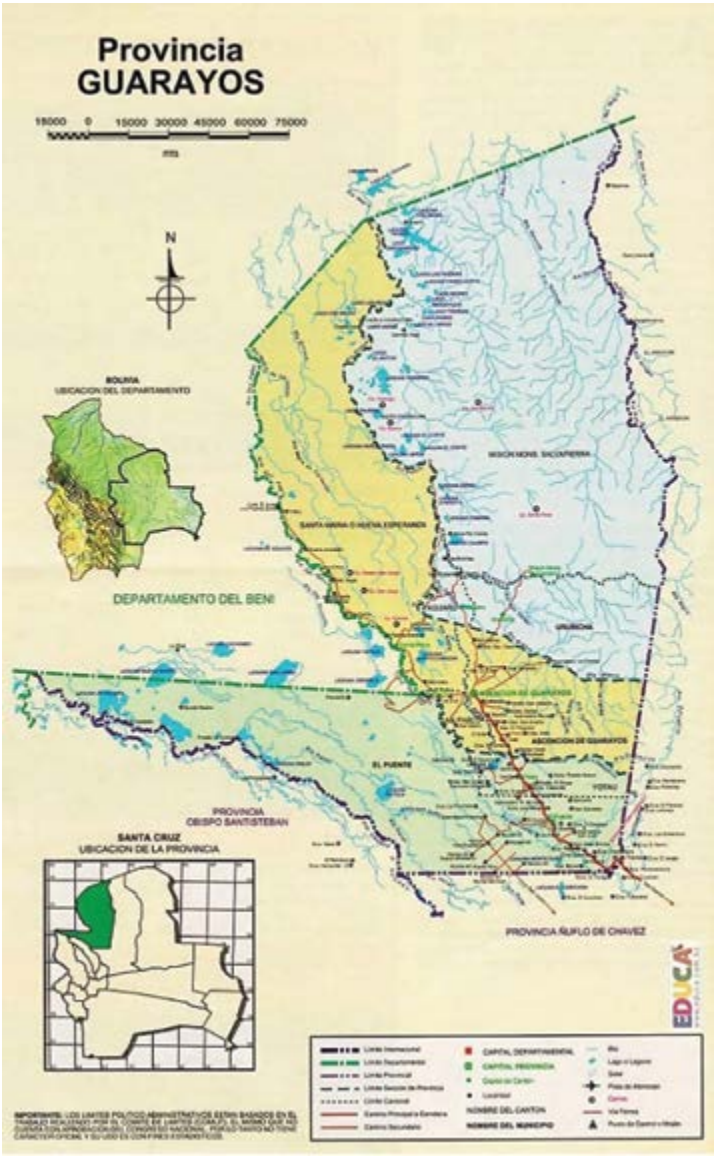
El estudio se desarrolló en la provincia Guarayos, en cinco comunidades de los municipios de El Puente y Ascensión de Guarayos, como se detalla en la Tabla 10. Las capitales de dichos municipios están ubicadas a 240 y 300 km de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, respectivamente (Gráficos 5 y 6).

Tabla 10
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz.
Comunidades y estanques en estudio

MUNICIPIO	COMUNIDAD	N° DE ESTANQUES
El Puente	Yotaú	2
Ascensión de Guarayos	Iyosar	2
	Jesús Nazareno	1
	Villa Fátima	4
	Rio Chico	3
Total	5	12

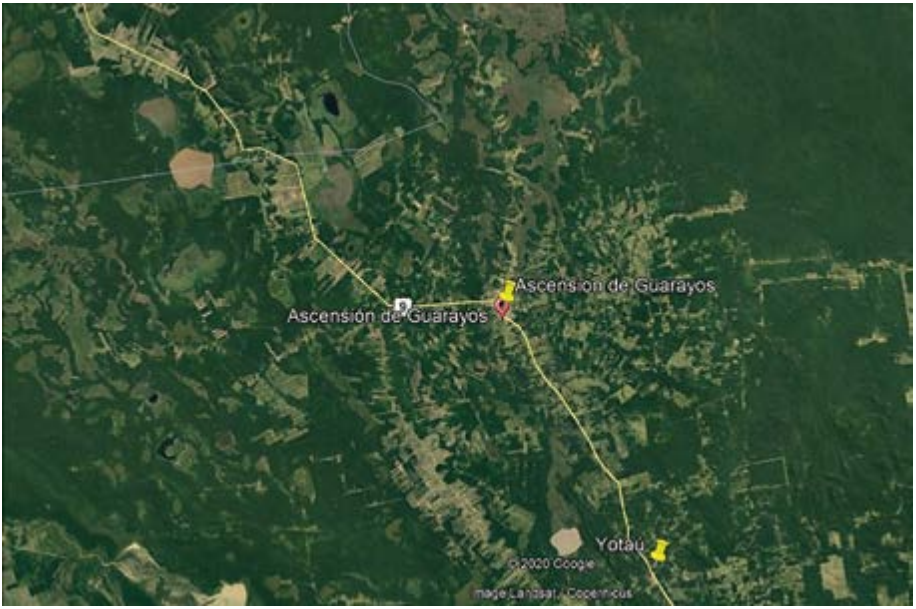
Fuente: elaboración propia

Figura 5
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz.
Influencia provincial del estudio. Impactos de la actividad piscícola en el agua surgente



Fuente: EDUCA, 2020

Figura 6
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz.
Ubicación georreferenciada de los estanques y afluentes naturales



Fuente: elaboración propia con base en Google Earth (consultado en 2020)

La región presenta una vegetación en transición entre el bosque amazónico y el bosque seco chiquitano, con una temperatura media anual son 25 °C y una precipitación anual de 1500 mm.

Las principales actividades económicas de la región son la cría de bovinos de carne (Nelore), la extracción de especies forestales maderables (bibosi, ochoo), no maderables (coco de cusi) y la agricultura (cultivos de yuca, maíz en pequeña escala, y a mayor cultivo de soya).

La topografía de la región es ondulada, con presencia de fuentes naturales de agua como lagunas, arroyos, nacientes y ríos, lo que ha propiciado la construcción de estanques para el cultivo de peces.

3.2. Diseño experimental

Este diseño consistió en muestreos y evaluaciones de parámetros físicos, químicos y biológicos, tanto en los estanques piscícolas y respectivos afluentes naturales, en 19 localidades (puntos de evaluación), detallados en la Tabla 11.

Municipio	Comunidad	Nombre del beneficiario o cooperante	CÓDIGO	N° Localidad
Ascensión de Guarayos	Iyosar	Ramón Silva	PI1	1
			VI1	2
		Reynaldo Vásquez	PI2	3
			VI2	4
	Jesús Nazareno	Grupo de piscicultores de la Comunidad Jesús Nazareno	PJN1	5
			VJN1	6
	Río Chico	Grupo de piscicultores de la Comunidad Río Chico	PRCH1	7
			PRCH2	8
			PRCH3	9
			VRCH1	10
	Villa Fátima	Asociación de Trabajadores Agropecuarios de la Comunidad Villa Fátima, ATACVF	PVF1	11
			PVF2	12
			PVF3	13
			VVF1	14
		Wilfredo Quintase	PWQ1	15
			VWQ1	16
El Puente	Yotaú	Asociación de piscicultores Curuvina de Yotaú	PY1	17
			PY2	18
			VY1	19

Tabla 11
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz
Descripción de las localidades evaluadas y muestreo de parámetros físicos, químicos y biológicos

Tiempo de actividad piscícola (Años)	Dimensiones de la poza			Densidad poblacional (peces/m²)	Producción por ciclo (kg)
	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)		
4	20	50	2,5	1500	1275
-	-	-	0,4	-	-
4	20	50	2,5	1000	950
-	-	-	0,4	-	-
4	20	50	2,5	1000	850
-	-	-	0,5	-	-
4	20	50	3	1000	850
4	20	50	2,5	1000	1000
4	20	50	2,5	1000	900
-	-	-	0,65	-	-
6	20	50	2,5	1000	850
6	20	50	2,5	1000	850
6	20	50	2,5	1000	850
-	-	-	0,4	-	-
4	20	50	2,5	1000	900
-	-	-	0,4	-	-
5	20	50	3	1000	900
5	20	50	3	1000	900
-	-	-	60	-	-

Códigos: P = estanque piscícola; V = afluente natural de agua

Fuente: elaboración propia

De los 19 estanques piscícolas y afluentes naturales incluidos en el presente estudio, 16 pertenecen al municipio de Ascensión de Guarayos, y 3 al municipio de El Puente.

Los estanques de las localidades Iyosar, Jesús Nazareno, Río Chico y W. Quintase (Villa Fátima), tienen 4 años de actividad piscícola, mientras que los estanques de Yotaú tienen 5 años de actividad piscícola; y los estanques de Asociación de Trabajadores Agropecuarios de la Comunidad Villa Fátima, son los más antiguos, con 6 años de actividad piscícola.

Los estanques tienen dimensiones similares, de 20 m x 50 m (haciendo un espejo de agua de 1000 m^2). La profundidad de los estanques de Ascensión alcanza los 2,5 m., mientras que los estanques de El Puente tienen 3,0 m.

Cada estanque piscícola, alberga un total de 1.000 peces tambaquí (*Colossoman brachypomun*), excepto en la Localidad 1, donde existen 1.500 peces.

3.3 Muestreo en campo

La colecta de agua se realizó entre septiembre y octubre de 2019, considerando los siguientes parámetros:

3.3.1. Parámetros físicos

Conductividad eléctrica

Se tomó una muestra de agua con el medidor portátil multiparamétrico a través de sondas sensoriales (HANNA INTRUMENT – HI 98194) a 0,8 y 1,0 m de profundidad.

Temperatura

Se tomaron dos muestras con un multiparamétrico (HANNA INSTRUMENTS-Hl 98194) en dos puntos del estanque, a una profundidad de 30 a 45 cm.

Transparencia

Se utilizó el Disco Secchi, recabando datos sobre la profundidad de la turbidez y transparencia del agua, en el centro del estanque.

3.2.2 Parámetros químicos

pH

Se tomaron dos muestras de agua con el medidor portátil multiparamétrico a través de sondas sensoriales (HANNA INTRUMENT– HI 98194) a 0,8 y 1 m de profundidad (Gráfico 7). En las fuentes naturales, la muestra estuvo en función a la profundidad; para ambos casos la hora de muestreo fue de 8 a 10 am.

Figura 7
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz.
Personal de CIPCA determinando parámetros físicos (equipo multiparamétrico portátil) con la Unidad de apoyo de laboratorios de la Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno

Fuente: fotografía tomada por CIPCA Santa Cruz, octubre de 2019

Oxígeno Disuelto

Se tomaron dos muestras de agua con el medidor portátil multiparamétrico a través de sondas sensoriales y reactivos (HANNA INTRUMENT – HI 98194) en horas de 8 a 9 am.

Nitritos

En los estanques y respectivos afluentes naturales, se tomó una muestra de 1 litro a una profundidad de 20 cm, de los cuales 20 ml fueron utilizados para el análisis mediante un espectrofotómetro portátil (HANNA INTRUMENT – CHECKER HI708).

Amonio tóxico

Tanto en los estanques y afluentes naturales, se tomó una muestra de 1 litro a una profundidad de 20 cm, de los cuales 20 ml fueron utilizados para el análisis mediante un espectrofotómetro portátil (HANNA INTRUMENT – CHECKER HI715).

Cloruros

Se tomó una muestra de 1 litro del estanque, al igual que en su respectivo afluente natural, a una profundidad de 20 cm, de los cuales 20 ml fueron utilizados para el análisis mediante un espectrofotómetro portátil a través de reactivos para cloruros CR (HANNA INTRUMENT – CHECKER HI753).

Hierro, calcio, alcalinidad y dureza

De cada estanque piscícola y afluentes naturales, se recolectaron muestras de 750 ml a 30 cm de profundidad, luego muestras de 500 ml colocadas en recipiente limpio y conservado a 22 °C, fueron enviados al laboratorio (Unidad de apoyo a los laboratorios-Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno, UTALAB-UAGRM), para su respectivo análisis.

3.3.3. Parámetros biológicos

Se tomaron muestras de agua superficial de un litro, del estanque y de los afluentes naturales, para ser enviados al laboratorio para su respectivo análisis de diversidad de fitoplancton, zooplancton y coliformes.

Se recolectaron muestras de agua de 12 estanques piscícolas y 7 afluentes naturales de agua cercanas a los estanques piscícolas.

In situ se determinaron: conductividad eléctrica, pH, temperatura y transparencia, mediante el uso de un medidor portátil; oxígeno disuelto; amonio tóxico, cloruros y nitritos con el uso de un multiparamétrico portátil.

Todos los equipos utilizados en las evaluaciones *in situ*, fueron debidamente calibrados y medidos con estándares de control analítico.

3.4. Análisis de la información

Inicialmente, fueron evaluadas la normalidad y homogeneidad de la distribución de los datos para cumplir con los supuestos de estadística paramétrica, mediante los test de Shapiro-Wilk y Levene respectivamente, y transformamos (ln+1) algunos parámetros (amonio tóxico, nitrito, hierro y zooplancton). En estadística, el **Test de Shapiro–Wilk** se usa para contrastar la normalidad de un conjunto de datos. Se plantea como hipótesis nula que una muestra $x_1,..., x_n$ proviene de una población normalmente distribuida.

Comparamos los parámetros físicos, químicos y biológicos de las aguas de los estanques y afluentes naturales con el test t, y para verificar la relación entre los parámetros se usó el análisis de correlación entre las variables. La prueba **"t"** de Student es un tipo de estadística deductiva que se utiliza para determinar si hay una diferencia significativa entre las medias de dos grupos. Con toda la estadística deductiva, asumimos que las variables dependientes tienen una distribución normal. La prueba estadística para **t** de Student es el valor **t**.

Finalmente, un análisis multivariado de componentes principales, PCA, fue realizado para tener una visión general de la relación de los parámetros físicos, químicos y biológicos entre el agua de los estanques y los afluentes naturales. El software R versión 3.6.1 fue utilizado para realizar el análisis estadístico.

4. RESULTADOS

Cosecha de peces.
Foto: CIPCA Santa Cruz

De los 74 estanques piscícolas implementados en la provincia Asunción de Guarayos, con auspicio de CIPCA, 12 estanques (16,21%) fueron incluidos en el presente estudio. Diez estanques piscícolas pertenecen al municipio Ascensión de Guarayos y dos al municipio El Puente.

Con base en los datos recabados y la metodología de análisis elegida, a continuación, se presentan los resultados específicos para cada parámetro evaluado.

4.1. Parámetros físicos

La Tabla 12 resume los promedios de los parámetros físicos calculados en cada municipio.

Respecto a la conductividad se puede apreciar que los valores correspondientes a Ascensión de Guarayos, tanto de los estanques como de sus respectivos afluentes (255,38 µS/cm y 204, 72 µS/cm, respectivamente), son mayores a los de El Puente (120,67 µS/cm y 145 µS/cm).

Tabla 12
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz Promedios de parámetros físicos obtenidos por municipio

VARIABLE	MUNICIPIO			
	ASCENSIÓN DE GUARAYOS		EL PUENTE	
	Estanque	Afluente	Estanque	Afluente
Conductividad (µS/cm)	255,38	204,72	120,67	145,00
Temperatura (°C)	30,75	25,48	30,91	26,00
Transparencia (cm)	34,10	34,69	38,58	50,00

Fuente: elaboración propia

El análisis de la temperatura indica que los valores promedios de los estanques y de los afluentes naturales son similares en ambos municipios. Sin embargo, la diferencia entre de temperatura de las afluente y de los estanques se debe a que en los afluentes hay una circulación continua de agua, por ello la temperatura es menor en relación a la de los estanques. De igual forma, estos valores se encuentran dentro de los rangos recomendados para la producción piscícolas 24 a 32 °C.

Respecto a transparencia, los valores promedios calculados en estanques y sus respectivos afluentes naturales del municipio El Puente (38,58 cm y 50 cm, respectivamente), son levemente superiores a los promedios de los del municipio Ascensión de Guarayos (34,10 cm y 34,69 cm).

La Tabla 13 presenta los resultados del análisis test T para los parámetros físicos aplicado en la totalidad de las Localidades (estanques y respectivos afluentes naturales).

Tabla 13
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Resultados del test T de análisis de parámetros físicos

VARIABLES	ESTANQUE	AFLUENTE NATURAL	p
Conductividad (µS/cm)	232,9 ± 26,5	196 ± 30,7	0,81^{ns}
Temperatura (°C)	30,7 ± 0,3	25.6 ± 0,2	0,001***
Transparencia (cm)	34,8 ± 3,1	36.8 ± 6,7	0,76^{ns}

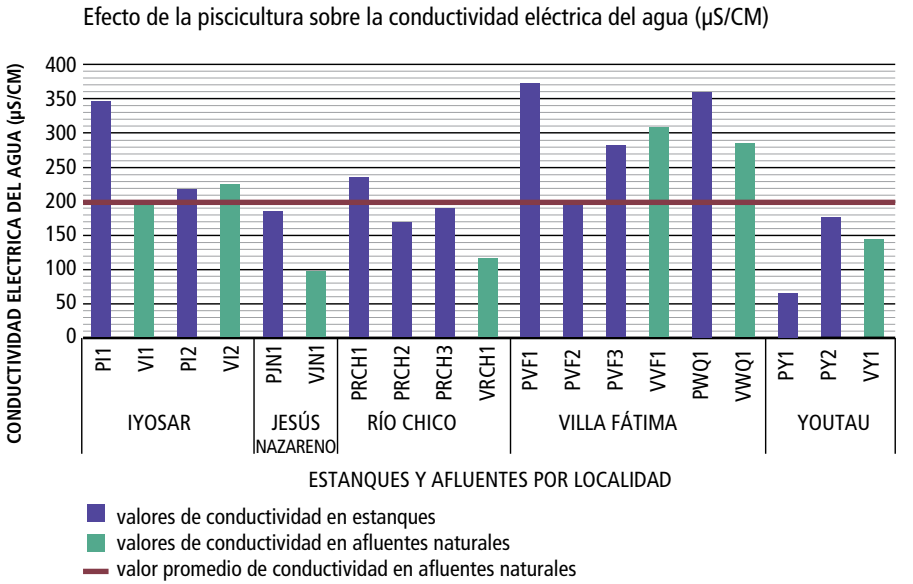
Los datos están expresados en promedio ± error estándar
Niveles de significancia, ns = no significativo, * p< 0,05; ** p< 0,01 *** p< 0,001

Fuente: elaboración propia

Conductividad

Las diferencias estadísticas entre los valores promedio de conductividad eléctrica de los estanques (232,9 ± 26,5), comparadas con los promedios de los afluentes naturales (196 ± 30,7), no fueron significativas (ver Gráfico 8).

Figura 8
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz.
Valores de conductividad eléctrica del agua de estanques piscícolas y respectivo afluente natural



Fuente: elaboración propia

El análisis de los valores de conductividad eléctrica del agua de cada estanque piscícola y respectivo afluente natural, además del valor promedio de los afluentes naturales (línea roja del gráfico) de cada Localidad, permite indicar que en ocho localidades (PI1, PNJ1, PRCH1, PRCH2, PRCH 3, PVF1, PWQ1 y PY2) los valores de conductividad registrada en los estanques (columna azul), es mayor que la registrada en sus respectivos afluentes naturales (columna verde).

En la Comunidad Villa Fátima, donde tres estanques piscícolas comparten un afluente natural, se observa que un estanque (PVF1) presenta mayor conductividad que el afluente natural. Algo similar ocurre en la Comunidad Yotaú, donde una de los estanques (PY2), presenta mayor valor de conductividad que el afluente natural (VY1).

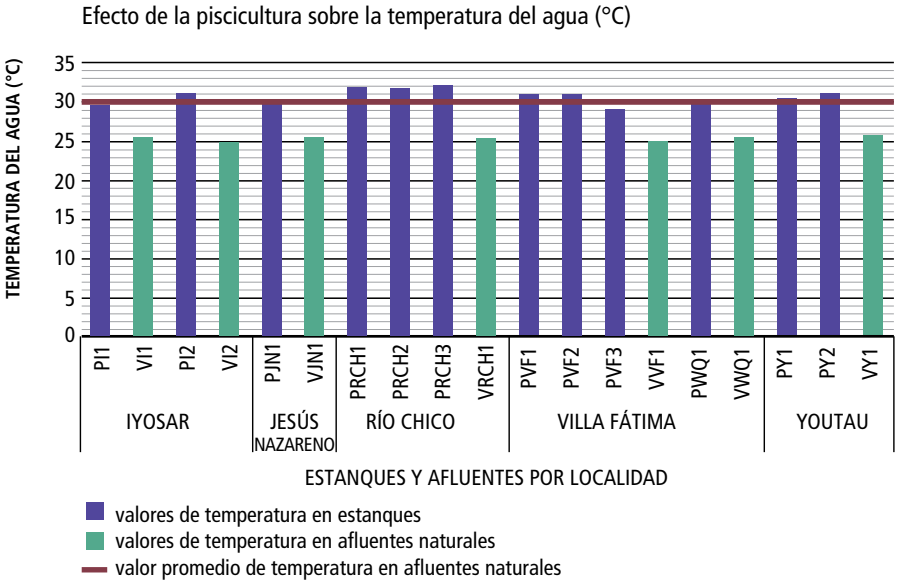
50% de los estanques piscícolas (todos del municipio de Ascensión de Guarayos) muestran niveles de conductividad mayor que las del promedio general de los

afluentes naturales (196 ± 30.7). Esto quiere decir que el agua de los estanques es rica por los iones disueltos en ella.

Temperatura

La temperatura promedio de los estanques (30,7 ± 0,3), tiene valores más altos que la registrada en los afluentes naturales (25,6 ± 0,2), siendo esta diferencia estadística altamente significativa (ver Tabla 13).

Figura 9
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz.
Valores de temperatura del agua de estanques piscícolas y respectivo afluente natural



Fuente: elaboración propia

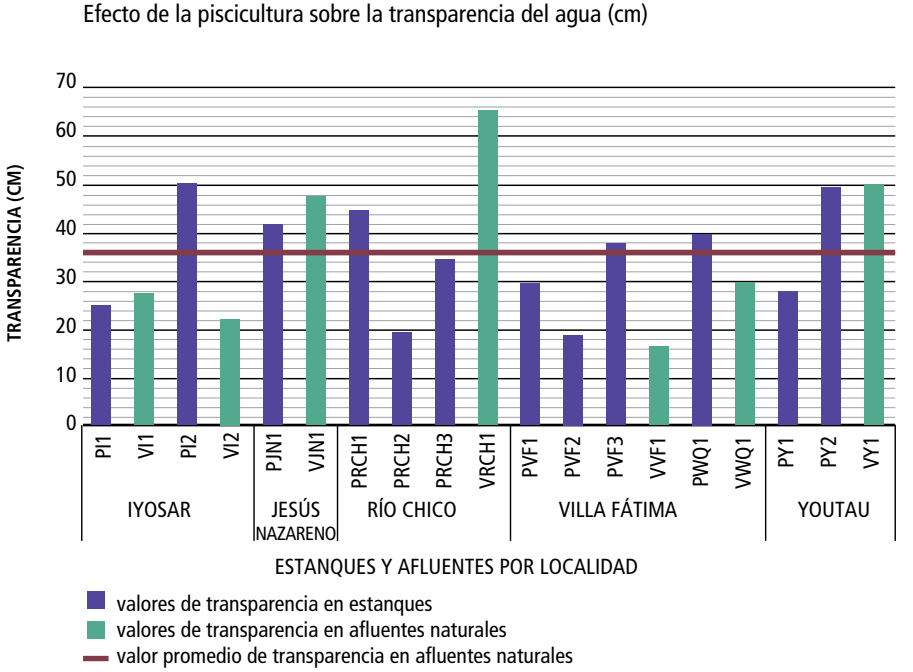
En el Gráfico 9 se observa que, sin excepción, que las temperaturas registradas en cada estanque (columna azul), fueron superiores a las de sus respectivos afluentes naturales (columna verde), y consecuentemente, también mayores que el promedio de los afluentes.

Cabe mencionar que ocho estanques (PI2, PRCH1, PRCH2, PRCH3, PVF1, PVF2, PY1 y PY2), muestran temperaturas que sobrepasan los 30° C., por lo que estarían dentro de los parámetros recomendados para la piscicultura 24 a 32C°. La diferencia de temperatura en relación a las afluentes se debe a que en los estanques el agua está detenida.

Transparencia

Según el análisis estadístico, el valor promedio de transparencia registrado en los estanques (34,8 ± 3,1), es menor al promedio de los afluentes naturales (36,8 ± 6,7), pero estas diferencias no son significativas (ver Tabla 13).

Figura 10
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz.
Valores de transparencia del agua de estanques piscícolas y respectivo afluente natural



Fuente: elaboración propia

En el Gráfico 10, se observa que los valores de transparencia de los afluentes naturales VI1, VJN1, VRCH1 y VY1 (columnas verdes), son mayores que los de los estanques piscícolas correspondientes (columnas azules). En el resto de las Localidades, los valores de transparencia registrados en los afluentes naturales (VI2, VVF1 y VWQ1), muestran valores inferiores a los registrados en los estanques piscícolas correspondientes.

Los valores más altos de transparencia corresponden a los estanques, oscilan los 50 cm, PI2 (municipio Ascensión de Guarayos) y PY2 (municipio El Puente).

Cinco estanques del municipio Ascensión de Guarayos (PI2, PJN1, PRCH1, PVF3 y PWQ1), superan al valor promedio de transparencia de sus respectivos afluentes naturales (VP1, VJN1, VRCH1, VVF1 y VWQ1). Mientras que el, el estanque PY2 del municipio El Puente muestra mayor valor de transparencia que su respectivo afluente natural (VY1).

Es importante mencionar que, al ser correntias, las afluentes naturales son más transparentes que las aguas de los estanques, sin embargo, ambas están dentro de los rangos óptimos para piscicultura.

4.2. Parámetros químicos

La Tabla 14 muestra los promedios de los parámetros químicos evaluados por municipio.

Analizando el parámetro **alcalinidad**, se puede apreciar que los promedios correspondientes a Ascensión de Guarayos, tanto de los estanques como de sus respectivos afluentes (108,90 y 119,75 mg/l, respectivamente), son mayores a los de El Puente (52,50 y 19,50 mg/l).

Para amonio tóxico, los promedios de los estanques y respectivos afluentes (0,14 y 0,11 mg/l) del municipio Ascensión de Guarayos, son marcadamente mayores que los promedios correspondientes al municipio El Puente (0,02 y 0,00 mg/l).

Tabla 14
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz.
Promedios de parámetros químicos obtenidos por municipio

VARIABLE	MUNICIPIO			
	ASCENSIÓN DE GUARAYOS		EL PUENTE	
	Estanque	Afluente	Estanque	Afluente
Alcalinidad (mg/l)	108,90	119,75	52,50	19,50
Amonio tóxico (mg/l)	0,14	0,11	0,02	0,00
Calcio (mg/l)	13,48	21,13	8,80	4,00
Cloruro (mg/l)	0,31	0,22	0,31	0,00
Dureza (mg/l)	62,60	88,33	45,00	36,00
Hierro (mg/l)	0,89	1,44	0,75	0,10
Nitrito (mg/l)	66,40	16,67	7,50	3,00
Oxígeno disuelto (mg/l)	5,47	5,35	8,50	4,30
pH	7,99	7,71	8,51	6,93

Fuente: elaboración propia

Respecto a **calcio**, los promedios de los estanques y respectivos afluentes del municipio Ascensión de Guarayos (13,48 y 21,13 mg/l, respectivamente) son mayores que los promedios que los del municipio El Puente (8,80 y 4,00 mg/l).

Analizando el **cloruro**, los promedios de ambos municipios registrados en los estanques (0,31 mg/l), son iguales. Pero, los correspondientes a los afluentes naturales presentan diferencias; los del afluente de Ascensión de Guarayos (0,22 mg/l) es mayor que el afluente de El Puente (0,00 mg/l).

En cuanto a la **dureza**, los promedios del municipio Ascensión de Guarayos, tanto del estanque como de su respectivo afluente natural (62,60 y 88,33 mg/l, respectivamente), son mayores que los promedios correspondientes a los del municipio El Puente (45,00 y 36,00, respectivamente).

Respecto al **hierro**, los promedios del municipio Ascensión de Guarayos, tanto del estanque como del afluente natural (0,89 y 1,44 mg/l, respectivamente), son mayores que los promedios correspondientes al Municipio El Puente (0,75 y 0,10 mg/l).

Observando los promedios de **nitrito**, se advierte que los correspondientes a los estanques y respectivos afluentes naturales de Ascensión (66,40 y 16,67 mg/l, respectivamente), son mayores que los de El Puente (7,50 y 3,00 mg/l).

Respecto a **oxígeno disuelto**, se observa que el promedio de los estanques del municipio El Puente (8,50 mg/l) es mayor que el promedio del municipio Ascensión de Guarayos (5,47 mg/l). En cambio, el promedio del afluente de Ascensión de Guarayos (5,35 mg/l) es mayor que su correspondiente en El Puente (4,30 mg/l).

En cuanto al **pH**, el promedio de los estanques del municipio El Puente (8,51) es superior a su correspondiente de Ascensión de Guarayos (7,99). En tanto que el promedio de los afluentes naturales del Ascensión de Guarayos (7,71), es mayor su correspondiente de El Puente (6,93).

En la Tabla 15, se presenta los resultados del Análisis test T para los parámetros químicos realizado para la totalidad de los estanques y respectivos afluentes naturales, del que se presentan los resultados de la manera siguiente:

Tabla 15
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz.
Resultados del test T de análisis de parámetros químicos

VARIABLES	ESTANQUE PISCÍCOLA	AFLUENTE NATURAL	p
Alcalinidad (mg/l)	99,5 ± 11,7	105,4± 24,2	0,81^{ns}
Amonio Tóxico (mg/l)	0,12 ± 0,1	0,14 ± 0,1	0,83^{ns}
Calcio (mg/l)	12,7 ± 1,9	18,7 ± 4,3	0,16^{ns}
Cloruro (mg/l)	0,3 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,32^{ns}
Dureza (mg/l)	59,7 ± 8,8	80,6 ± 19,4	0,27^{ns}
Hierro (mg/l)	0,87 ± 0,2	1,3 ± 0,4	0,51^{ns}
Nitrito (mg/l)	56,7 ± 17,8	14,7 ± 8,4	0,03*

Oxígeno disuelto (mg/l)	5,9 ± 0,9	5,2 ±0,4	0,57^{ns}
pH	8 ± 0,1	7,5 ± 0,2	0,06 ^{ns}

Los datos están expresados en promedio ± error estándar

Niveles de significancia, ns= no significativo, * p< 0,05; ** p< 0,01 *** p< 0,001

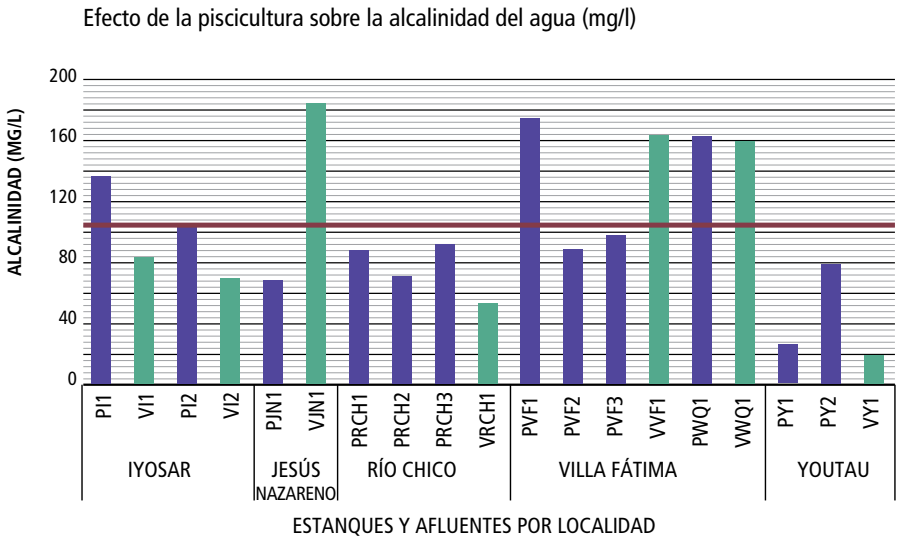
Fuente: elaboración propia

Alcalinidad

La **alcalinidad** promedio general de los estanques piscícolas (99,5 ± 11,7) resultó inferior al promedio general de los afluentes naturales (105,4± 24,2), aunque esta diferencia estadística no es significativa (ver Tabla 15).

Analizando en conjunto todas las Localidades (estanques en columna azul y afluentes naturales en verde, Gráfico 11), se observa que en nueve estanques (PI1, PI2, PRCH1, PRCH2, PRCH3, PVF1, PWQ1, PY1 y PY2) se presenta mayor alcalinidad que en sus respectivos afluentes naturales (VI1, VI2, VRCH1, VVF1, VWQ1 y VY1).

Figura 11
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz.
Valores de alcalinidad del agua de estanques piscícolas y respectivo afluente natural



Fuente: elaboración propia

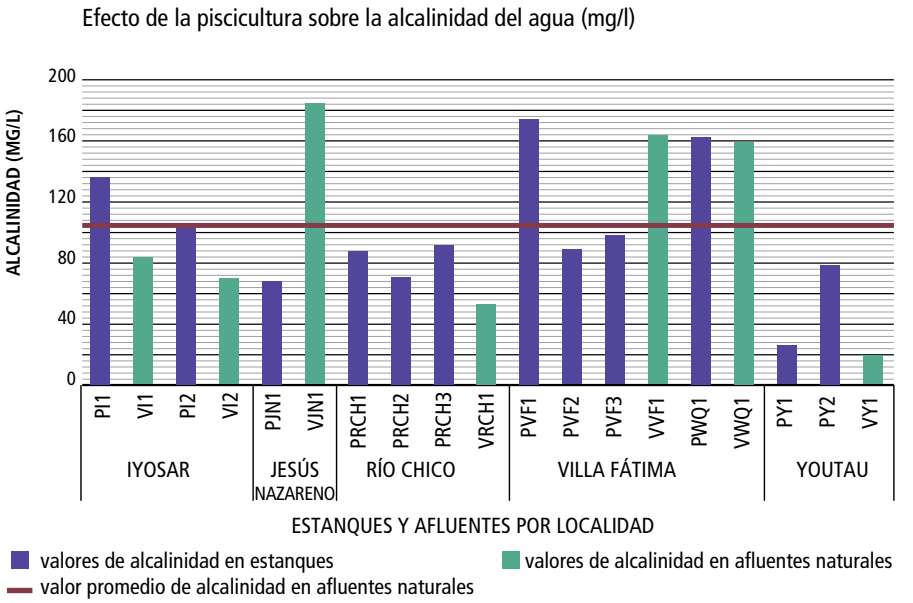
Asimismo, se observa que tres estanques (PI1, PVF1 y PWQ1) sobrepasan el promedio general de alcalinidad de los afluentes naturales (105,4 mg/l).

Amonio tóxico

El promedio general de **amonio tóxico** registrado en los estanques (0,12 ± 0,1), se muestra levemente inferior al promedio de los afluentes naturales (0,14 ± 0,1), pero esta diferencia estadística, no significativa (ver Tabla 15).

El panorama completo de todas las Localidades (Gráfico 12), nos permite indicar que en los estanques P12, PVF2 y PWQ1, han registrado valores inexistentes de amonio tóxico; al igual que en los afluentes naturales VRCH1, VVF1 y VY1.

Figura 12
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz.
Valores de amonio tóxico del agua de cada estanque piscícola y respectivo afluente natural



Fuente: elaboración propia

Los niveles de amonio tóxico de los estanques PJN1, PRCH1, PRCH2 y PRCH3, son superiores al promedio general de los afluentes naturales (0,14 mg/l).

Resalta el alto nivel de amonio tóxico registrado en el afluente natural del municipio Ascensión de Guarayos (VI1, con 0,38 mg/l), que prácticamente triplica el valor del promedio de general de los afluentes naturales (0,10 mg/l).

Calcio

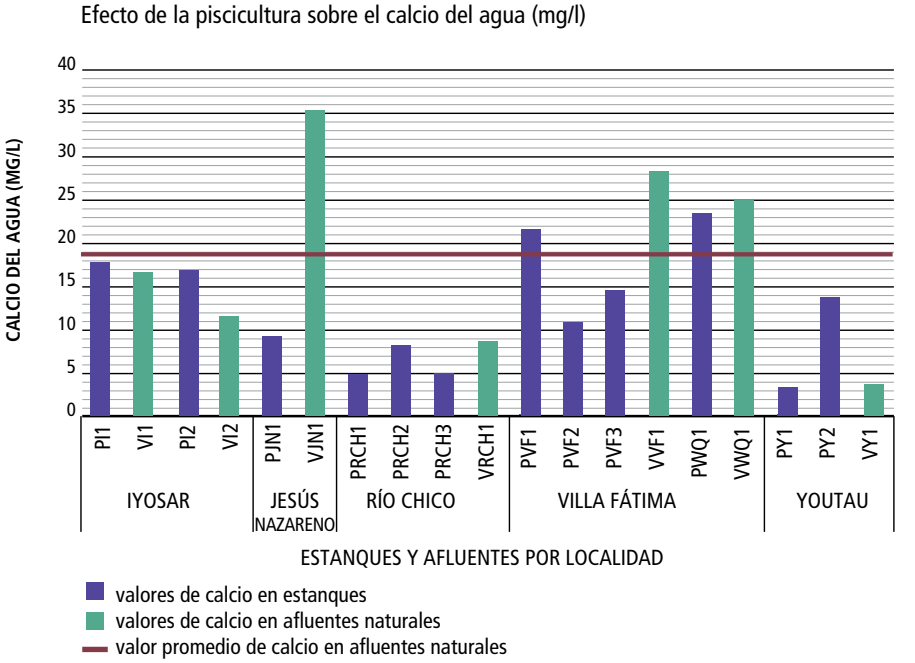
El promedio de calcio correspondiente a los estanques piscícolas (12,7 ± 1,9), resultó inferior al promedio de los afluentes naturales (18,7 ± 4,3); sin embargo, esta diferencia estadística no es significativa (ver Tabla 15).

En el Gráfico 13 muestran los valores de todos los estanques piscícolas (columna azul) y respectivos afluentes naturales (columna verde). Analizando la información, se puede mencionar que tan solo dos estanques piscícolas (PVF1 y PWQ1) superan al promedio general de los afluentes naturales (18,7 mg/l).

Los contenidos de Ca de los afluentes VJN1, VVF1 y VWQ1 son mayores a los contenidos en los estanques piscícolas (PJN1, PVF1, PVF2, PVF3 y VWQ1, respectivamente).

También se observa que los contenidos de Ca de los estanques PI1, PI2, y PY2 son mayores a los registrados en sus respectivos afluentes naturales (VI1, VI2 y VY1).

Figura 13
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valores de calcio del agua de cada estanque piscícola y respectivo afluente natural



Fuente: elaboración propia

Cloruro

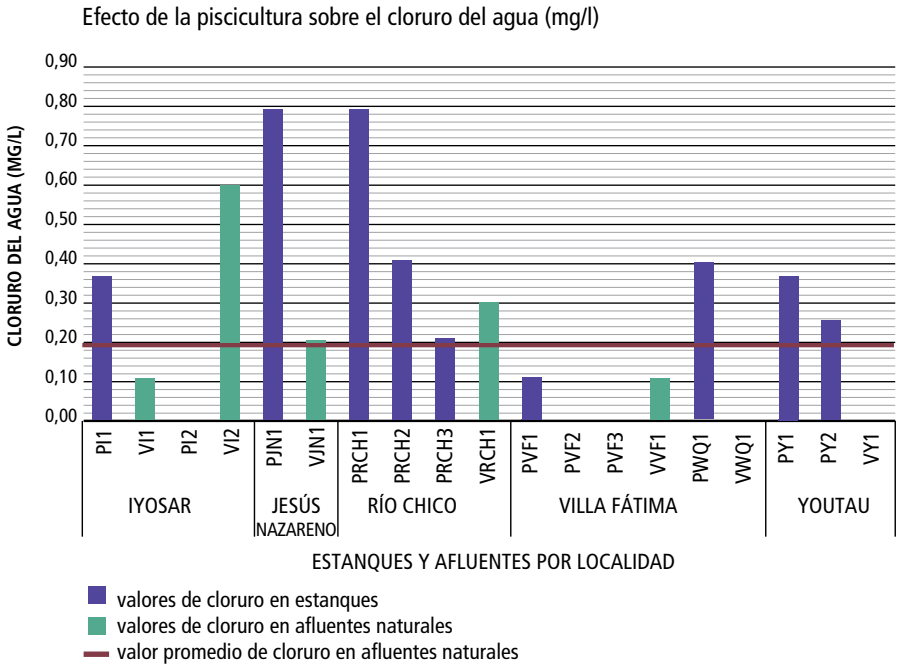
El valor promedio general de cloruro correspondiente de los estanques piscícolas (0,3 ± 0,1), es mayor que el valor promedio general de los afluentes naturales (0,2 ± 0,1), siendo esta diferencia estadística no significativa (ver Tabla 15).

El Gráfico 14 muestra los niveles de cloruro registrado en los estanques piscícolas (columna azul) y en los afluentes naturales (columna verde).

En los estanques PI2, PVF2 y PVF3, no se registró ningún valor de cloruro; similar situación ocurrió en los afluentes naturales (VWQ1 y VY1).

De los nueve estanques en los que se registró contenido de cloruro, ocho presentan (PI1, PJN1, PRCH1, PRCH2, PRCH3, PWQ1, PY1 y PY2) mayores valores que el promedio general de los afluentes naturales (0,12 mg/l).

Figura 14
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valoresde cloruro del agua de cada estanque piscícola y respectivo afluente natural



Fuente: elaboración propia

Dureza

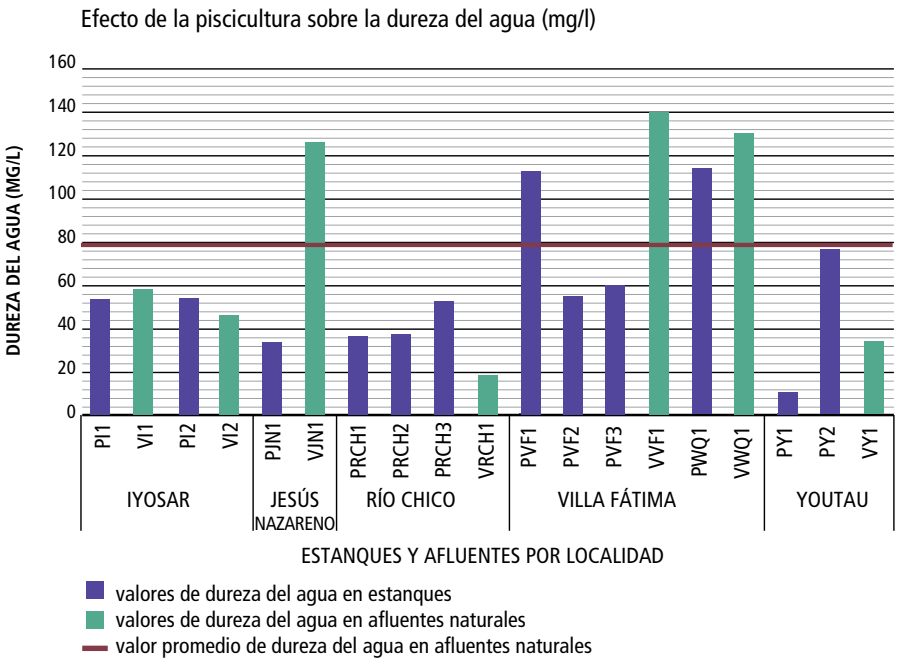
El promedio general de dureza del agua de los estanques piscícolas (59,7 ± 8,8) es inferior al promedio general registrado de los afluentes naturales (80,6 ± 19,4), esta diferencia estadística es no significativa (Tabla 15).

En el Gráfico 15 se pueden observar los tenores de dureza de cada estanque piscícola (columna azul) y respectivos afluentes naturales (columna verde). Se advierte que cinco estanques (PI2, PRCH1, PRCH2, PRCH3 y PY2) disponen de mayor dureza que sus respectivos afluentes naturales (VI2, VRCH1 y VY1).

Asimismo, que los valores de dureza de los estanques PI1, PI2, PJN1, PVF1, PVF2, PVF3, PWQ1 y PY1, son inferiores a los de sus respectivos afluentes naturales (VI1, VI2, VJN1, VVF1 y VY1).

Finalmente, que dos estanques piscícolas (PVF1 y PWQ1, ambos del municipio de Ascensión de Guarayos), presentan mayor dureza que el promedio general de los afluentes naturales (80,6 mg/l).

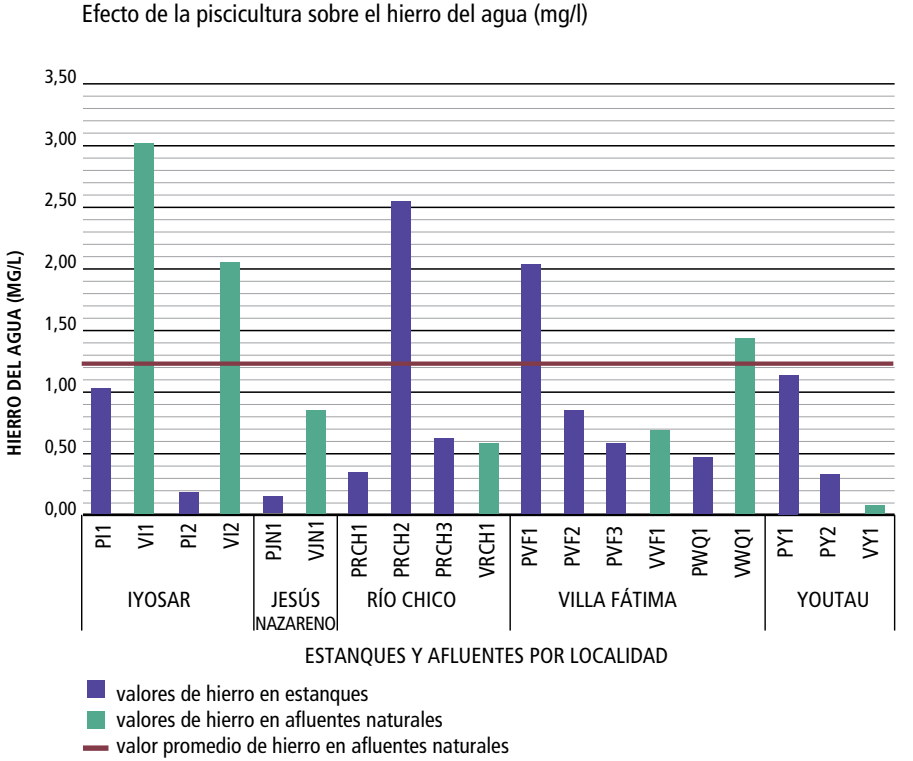
Figura 15
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valores de dureza del agua de cada estanque piscícola y respectivo afluente natural



Fuente: elaboración propia

Hierro

Figura 16
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valores de hierro del agua de cada estanque piscícola y respectivo afluente natural



Fuente: elaboración propia

El promedio de hierro registrado en los estanques piscícolas (0,87 ± 0,2) es inferior al promedio de los afluentes naturales (1,3 ± 0,4), sin embargo, esta diferencia estadística no es significativa (Tabla 15).

El Gráfico 16 revela los contenidos de hierro en los estanques piscícolas (columna azul) y respectivos afluentes naturales (columna verde). En los estanques PRCH2, PRCH3, PVF1, PVF2, PY1 y PY2, se registró mayor tenor de hierro que sus respectivos afluentes naturales (VRH1, VVF1, VY1).

En el resto de los estanques piscícolas (PI1, PI2, PJN1, PRCH1, PVF3 y PWQ1), los niveles de hierro, son inferiores a sus respectivos afluentes naturales (VI1, VI2, VJN1, VRCH1, VVF1 y VWQ1).

Los tenores de hierro de los estanques PRCH2 y PVF1 (ambos del municipio Ascensión de Guarayos), son mayores que el promedio de los afluentes naturales (1,3 mg/l).

Nitrito

El valor promedio general de nitrito correspondiente a los estanques (56,7 ± 17,8), es mayor que el registrado en el promedio de los afluentes naturales (14,7 ± 8,4) y esta diferencia estadística es significativa (ver Tabla 15).

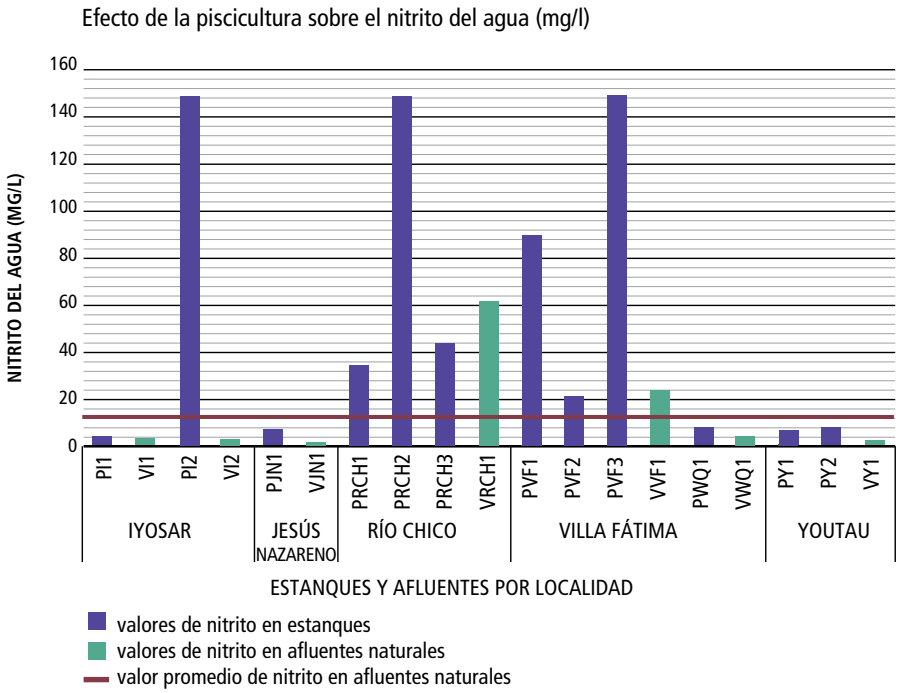
El Gráfico 17, muestra los contenidos de nitrito en los estanques piscícolas (columna azul) y respectivos afluentes naturales (columna verde); y también el promedio correspondiente a los afluentes naturales (línea roja).

Todos los estanques piscícolas (excepto PRCH1, PRCH3 y PVF2), tienen mayor contenido de nitrito que sus respectivos afluentes naturales.

Los estanques PI2, PRCH2 y PVF3 presentan los mayores contenidos de nitrito (150 mg/l), respecto del resto, con valores inferiores a 100 mg/l.

El tenor de nitrito más alto de un afluente natural, corresponde al VRCH1, con 62 mg/l y el resto de los afluentes tienen valores inferiores a 20 mg/l.

Figura 17
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valores de nitrito del agua de cada estanque y respectivo afluente natural

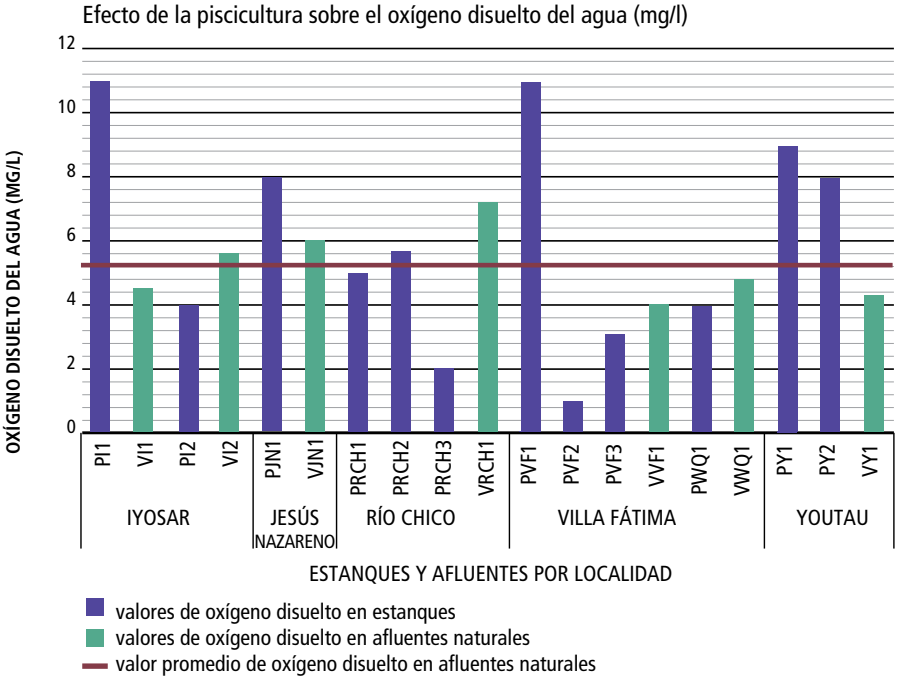


Fuente: elaboración propia

Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto promedio general de los estanques piscícolas (5,9 ± 0,9), es inferior al promedio general de los afluentes naturales (5,2 ± 0,4), pero esta diferencia estadística no es significativa (ver Tabla 15).

Figura 18
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valores de oxígeno disuelto del agua de cada estanque piscícola y respectivo afluente natural



Fuente: elaboración propia

En el Gráfico 18 se aprecian los tenores de oxígeno disuelto en el agua, correspondiente a cada uno de los estanques piscícolas (columna azul) y sus respectivos afluentes naturales (columna verde).

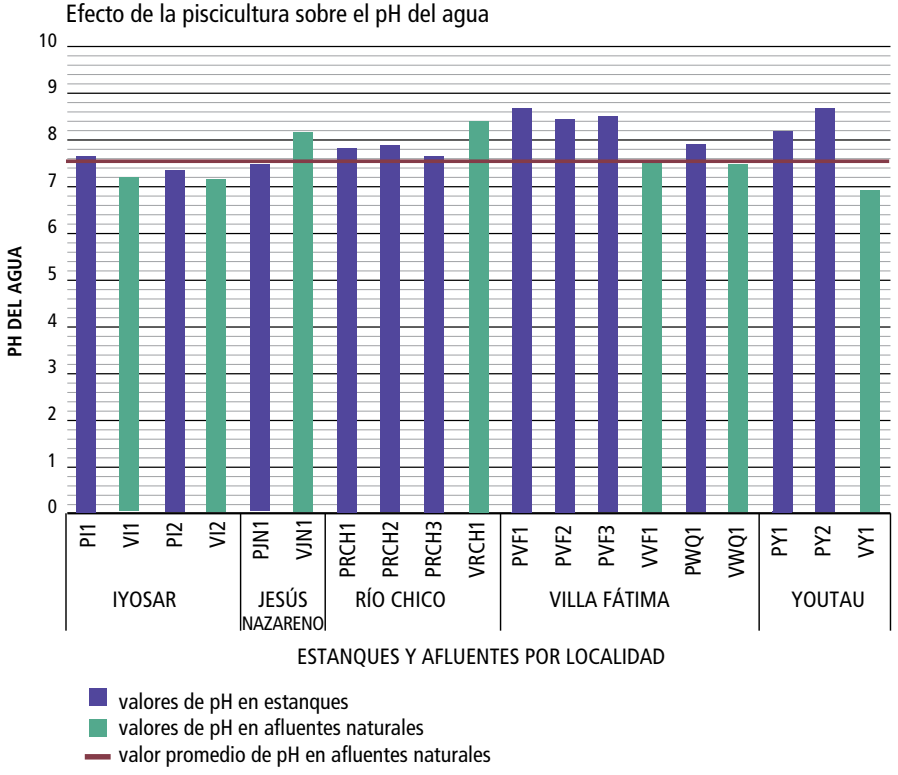
Los contenidos de oxígeno disuelto de los estanques PI1, PJN1, PVF1, PY1 y PY2 presentan mayor contenido que sus respectivos afluentes naturales (VI1, VJN1, VVF1 y VY1). El resto de los estanques piscícolas, contienen menos oxígeno que sus respectivos afluentes naturales.

Cuatro estanques piscícolas del municipio Ascensión de Guarayos (PI1, PJN1, PRCH2 y PVF1) y dos del municipio EL Puente (PY1 y PY2), tienen mayor contenido de oxígeno disuelto que el promedio de los afluentes naturales (5,2 mg/l).

pH

El promedio de pH correspondiente a los estanques piscícolas (8 ± 0,1), es mayor que el promedio general de los afluentes naturales (0,2 ± 7,5), pero esta diferencia estadística no es significativa (ver Tabla 15).

Figura 19
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valores de pH del agua de cada estanque piscícola y respectivo afluente natural



Fuente: elaboración propia

En el Gráfico 19 se muestran los valores de pH correspondiente a cada uno de los estanques piscícolas (columna azul), sus respectivos afluentes naturales (columna verde), y el promedio general de los afluentes naturales (línea horizontal roja).

De los 12 estanques piscícolas, 8 (PI1, PI2, PVF1, PVF2, PVF3, PWQ1, PY1 y PY2), muestran mayor pH que sus respectivos afluentes naturales (VI1, VI2, VVF1, VWQ1 y VY1).

Se observa también que el pH de los afluentes naturales VJN1 y VRH1están por encima de sus respectivos estanques piscícolas.

Ocho de los 12 estanques piscícolas implementados en el municipio Ascensión de Guarayos (PI1, PRH1, PRCH2, PRCH3, PVF1, PVF2, PVF3 y PWQ1), al igual que los dos del municipio El Puente (PY1 y PY2), contienen mayor pH que el promedio de los afluentes naturales (7,6).

Si bien se observa que algunos valores de pH de los estanques son superiores a los de las afluentes naturales, el rango adecuado para la producción de peces es de 6,5 a 8,5 lo que indica que las aguas están en óptimas condiciones para la producción.

4.3. Parámetros biológicos

La Tabla 16 muestra la cantidad promedio de especies de cada uno de los parámetros biológicos evaluados por municipio.

La cantidad promedio de especies de **fitoplancton** del municipio Ascensión de Guarayos, tanto de los estanques como de sus respectivos afluentes (16,30 y 12,83), son levemente inferiores a la cantidad promedio de especies encontrados en el municipio El Puente (17,50 y 17,00, respectivamente).

TABLA 16
PRODUCCIÓN PISCÍCOLA SOSTENIBLE, PROVINCIA GUARAYOS-SANTA CRUZ.
PROMEDIO DE PARÁMETROS BIOLÓGICOS POR MUNICIPIO

VARIABLE	MUNICIPIO			
	Ascensión de Guarayos		El Puente	
	Estanque	Afluente	Estanque	Afluente
Fitoplancton	16,30	12,83	17,50	17,00
Zooplancton	2,80	2,17	2,50	2,00

Fuente: elaboración propia

Tabla 17
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz.
Especies de fitoplancton identificados en el estudio

N°	Especie fitoplancton	Frecuencia de presencia	N°	Especie fitoplancton	Frecuencia de presencia
1	Actinastrum sp	1	21	Oscillatoria sp	1
2	Asterionella sp	1	22	Pandorina morum	1
3	Characium sp	1	23	Phacus lismorensis	1
4	Closterium praelongum	1	24	Pleurotaenium sp	1
5	Denticulata sp	1	25	Scenedesmus acuminatus	1
6	Diatoma sp	1	26	Selenastrum sp	1
7	Dictyosphaerium sp	1	27	Spirogyra sp	1
8	Euglena cf. caudata	1	28	Stauroneis sp	1
9	Euglena texta	1	29	Stauridium sp	1
10	Eunotia sp	1	30	Staurodesmus sp	1
11	Euglenophyta-Euglena acus	1	31	Strombomonas sp	1
12	Fragilaria sp	1	32	Tetrallantos sp	1
13	Geminella sp	1	33	Tetraedron sp	1
14	Gonatozygon sp	1	34	Trachelomonas spinosa	1
15	Itsmochloron sp	1	35	Trachelomonas volvocina	1
16	Luticola sp	1	36	Amphora sp	2
17	Mastogloia sp	1	37	Euglena schmitzii	2
18	Micrasterias sp	1	38	Eudorina sp	2
19	Navicula cryptotenella	1	39	Eutetramorus sp	2
20	Oocystis sp	1	40	Monoraphidium sp	2

Fuente: elaboración propia con base en resultados de laboratorio UTALAB

N°	Especie fitoplancton	Frecuencia de presencia	N°	Especie fitoplancton	Frecuencia de presencia
41	Zygnema sp	2	61	Achnanthes sp	5
42	Arthrodesmus sp	3	62	Diploneis sp	5
43	Arthrospira sp	3	63	Staurastrum sp	5
44	Frustulia sp	3	64	Cosmarium sp	6
45	Gomphonema sp	3	65	Monomorphina sp	6
46	Lyngbya sp	3	66	Rhopalodia sp	6
47	Merismopedia sp	3	67	Planktosphaeria sp	7
48	Microcystis sp	3	68	Chlorococcum sp	8
49	Peridinium sp	3	69	Cymbella sp	8
50	Pinnularia sp	3	70	Denticula sp	8
51	Surirella sp	3	71	Goniochloris sp	8
52	Synura sp	3	72	Nitzschia sp	8
53	Chroococcus sp	4	73	Scenedesmus sp	8
54	Closterium sp	4	74	Anomoeonesis sp	9
55	Glaucocystis sp	4	75	Euastrum sp	9
56	Gonium sp	4	76	Synedra sp	9
57	Gyrosigma sp	4	77	Lepocinclis sp	10
58	Melosira sp	4	78	Navicula sp	10
59	Staurastrum altenans	4	79	Phacus sp	10
60	Staurodesmus cornutus	4	80	Euglena sp	13
			81	Trachelomonas sp	17

Respecto al **zooplancton**, la cantidad promedio de especies registradas en los estanques (2,80) y respectivos afluentes naturales (2,17) del municipio Ascensión de Guarayos, son mayores a sus correspondientes del municipio El Puente (2,50 y 2,00, respectivamente).

Tabla 18
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz.
Resultados del test T de análisis de parámetros biológicos

Variables	Estanque piscícola (células/ml)	Afluente natural	p
Fitoplancton (especies)	16,5 ± 2	13,4 ± 1.6	0,18ns
Zooplancton (especies)	2,6 ± 0.3	2,1 ± 0.3	0,45ns
Coliformes termo resistentes	presencia	presencia	-

Los datos están expresados en promedio ± error estándar
Niveles de significancia, ns= no significativo, * p< 0,05; ** p< 0,01 *** p< 0,001

Fuente: elaboración propia

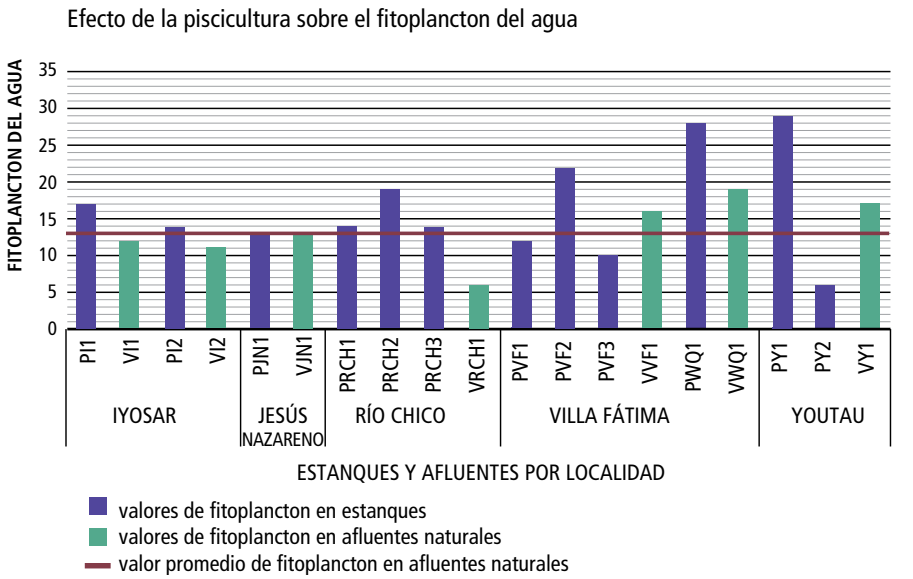
En la Tabla 18, se presentan los resultados del análisis test T para los parámetros biológicos, realizado en la totalidad de las Localidades (estanques y respectivos afluentes naturales)

Fitoplancton

La cantidad promedio de especies de **fitoplancton** correspondiente a los estanques piscícolas (16,5 ± 2), es inferior a la cantidad promedio que la cantidad promedio en los afluentes naturales (13,4 ± 1,6), pero esta diferencia estadística no es significativa (ver Tabla 18).

En el Gráfico 20, se muestra la cantidad de especies de fitoplancton de cada estanque piscícola (columna azul), respectivo afluente natural (columna verde) y promedio general de los afluentes naturales (línea horizontal roja).

Figura 20
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valores de fitoplancton del agua de cada estanque piscícola y respectivo afluente natural



Fuente: elaboración propia

Se observa que ocho estanques piscícolas (PI1, PI2, PRCH1, PRCH2, PRCH3, PVF2, PWQ1 y PY1) tienen mayor cantidad de especies de fitoplancton que sus respectivos afluentes naturales.

Dos estanques piscícolas del municipio Ascensión de Guarayos (PVF1 y PVF3) y uno del municipio El Puente (PY2), registran menor cantidad de especies de fitoplancton que sus correspondientes afluentes naturales (VVF1 y VY1); mientras que el estanque piscícola PJN1 tiene la misma (13,00) cantidad de especies de fitoplancton que su afluente natural (VJN).

Zooplancton

En la Tabla 19, se muestran las 20 especies de zooplancton identificadas en el presente estudio y su frecuencia en estanques y afluentes.

Tabla 19
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Especies de zooplancton identificados en el estudio en estanques y afluentes

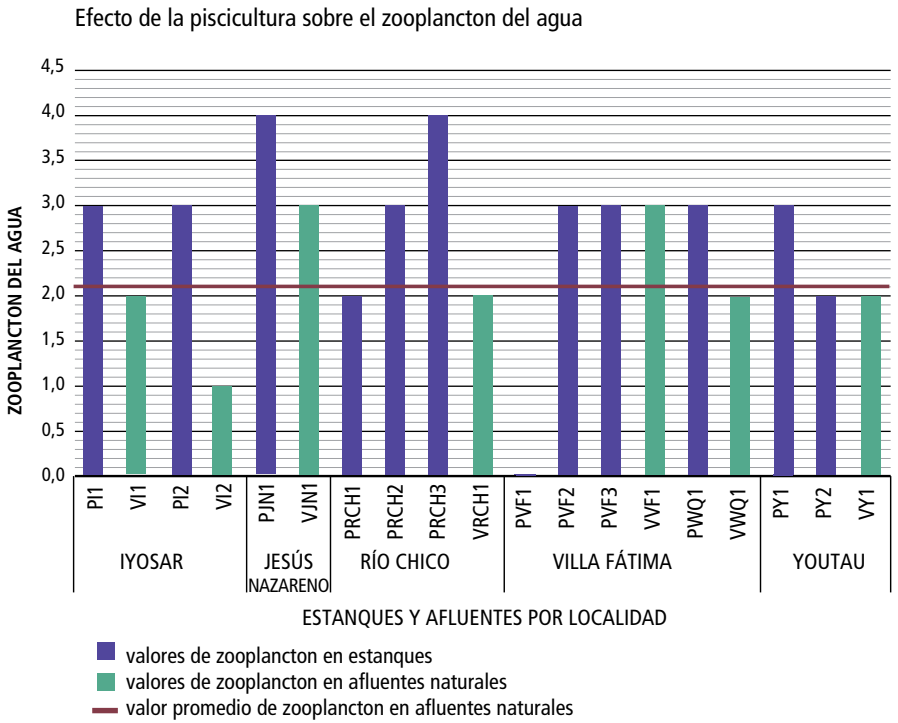
N°	ESPECIE DE ZOOPLANCTON	FRECUENCIA
1	Artemia salina	1
2	Brachionus calyciflorus	1
3	Brachionus spiangularis	1
4	Difflugia lobosyoma	1
5	Encentrum fellis	1
6	Keratella serrulata	1
7	Larva de Nematodo	1
8	Lecane hamata	1
9	Mniobia magna	1
10	Nothoica acuminata	1
11	Nothoica labis	1
12	Sphaecophrya sp	1
13	Cyclidium lanuginosum	2
14	Difflugia pyriformis	2
15	Daphnia sp	3
16	Keratella quadrata	4
17	Paramecium sp	4
18	Keratello tropica	5
19	Tropocyclops prasinus	5
20	Keratella cochlearis	12

Fuente: elaboración propia con base en resultados de laboratorio UTALAB

La cantidad promedio de especies de **zooplancton** registrado en los estanques piscícolas (2,6 ± 0,3), fue mayor que el promedio registrado en los afluentes naturales (2,1 ± 0,3), pero esta diferencia estadística no es significativa (ver Tabla 19).

En el Gráfico 21, se muestran la cantidad de especies de zooplancton en cada estanque piscícola (columna azul), respectivo afluente natural (columna verde) y promedio de los afluentes naturales (línea roja).

Figura 21
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz. Valores de zooplancton del agua de cada estanque piscícola y respectivo afluente natural



Fuente: elaboración propia

Seis estanques piscícolas del municipio Ascensión de Guarayos (PI1, PI2, PJN1, PRCH2, PRCH3, PWQ1) y uno del municipio El Puente (PY1), presentan mayor diversidad de zooplancton que sus respectivos afluentes naturales.

En dos estanques piscícolas de Ascensión de Guarayos (PVF2 y PVF3), y en uno de El Puente (PY2), se registra igual contenido de especies de zooplancton que en su respectivo afluente natural de agua (VVF1 y VP1, respectivamente).

En ocho estanques piscícolas del municipio Ascensión de Guarayos (PI1, P12, PJN1, PRCH2, PRCH3, PVF2, PVF3 y PWQ1) y uno del municipio El Puente

(PY1), se observa mayor diversidad de zooplancton que en el promedio de afluente natural.

La presencia y diversidad de zooplancton se producen por la fertilización de las aguas y tanto presencia como diversidad son beneficiosas para la producción ya que son el primer alimento natural que consumen las larvas y alevines. Los valores obtenidos indican que las pozas piscícolas tienen mayor diversidad y, por ende, son más productivas.

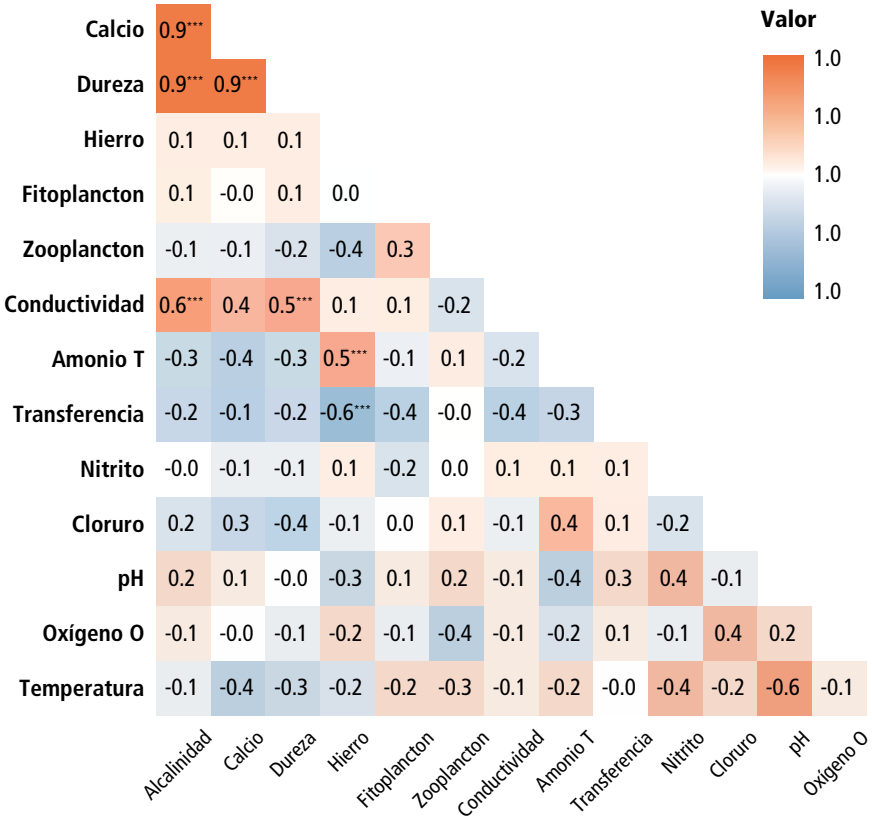
Coliformes termo resistentes

Según reporte de UTALAB-UAGRM, tanto en los estanques piscícolas, como en los afluentes naturales, existe **PRESENCIA** de coliformes, sin especificar los valores. Estas aguas no son aptas para el consumo humano (ver Tabla 18).

4.4. Correlaciones entre los parámetros evaluados

Realizado el análisis de correlación entre los parámetros físicos, químicos y biológicos de la calidad del agua en los estanques piscícolas y afluentes naturales, ocho de estos parámetros presentan correlaciones significativas (ver Gráfico 22).

Figura 22
Coeficiente de correlación de Pearson (-1< r <1) y significancia estadística de los parámetros físicos, químicos y biológicos (significativo para * p< 0,05, ** p< 0.01, *** p< 0.001)



Fuente: elaboración propia

Los parámetros con correlaciones significativas positivas, son:

- Calcio Vs. Alcalinidad (0,9***)
- Dureza Vs. Alcalinidad (0,9***)
- Dureza Vs. Calcio (0,9***)
- Conductividad Vs. Alcalinidad (0,6***)
- Conductividad Vs. Dureza (0,5***)

- Amonio tóxico Vs. Hierro (0,5***)
- Temperatura Vs. pH (0,6***)

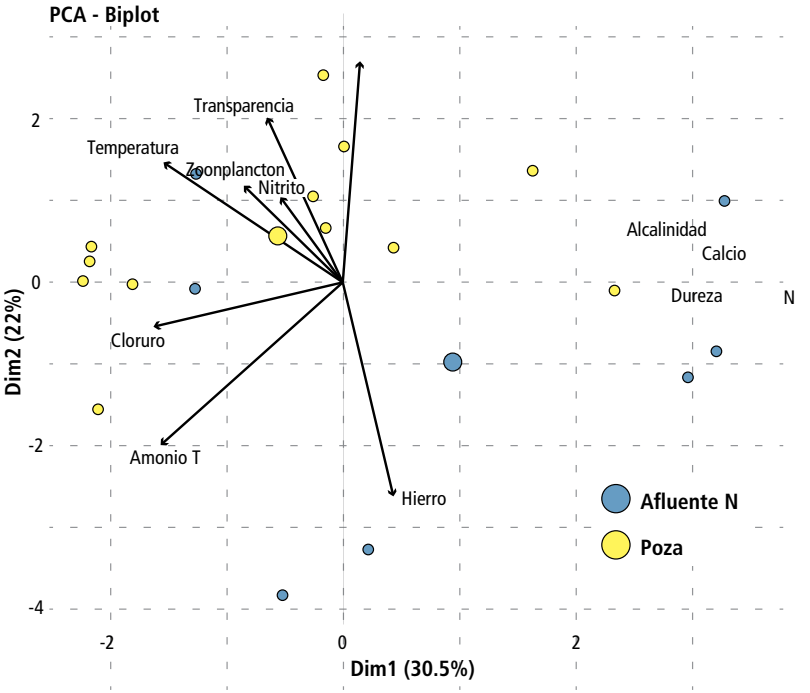
La correlación significativa negativa, se manifestó en:

- Transparencia Vs. Hierro (0,6***)

Los resultados del análisis comparado de componentes principales, complementan los análisis de los parámetros de calidad del agua evaluados en el estudio: físicos, químicos y biológicos.

Los dos primeros ejes de este análisis representaron el 52,5% de la variación total (ver Gráfico 23).

Figura 23
Análisis de componentes principales de los parámetros físicos, químicos y biológicos de las aguas de los estanques piscícolas y afluentes naturales



Fuente: elaboración propia

El eje 1 (30,5% de variación) identifica a los afluentes naturales que están relacionados con la alcalinidad, calcio y dureza, y el eje 2 (22% de variación) está relacionado con el pH, transparencia, temperatura y zooplancton, que están relacionados con los estanques y las afluentes naturales más relacionadas con el hierro y el amonio tóxico.

5. DISCUSIÓN

Toma de muestras de agua
de poza piscícola.
Foto: CIPCA Santa Cruz

Se ha evidenciado que la calidad del agua para fines de producción de peces resulta la interacción de varios factores físicos, químicos y biológicos. Por tanto, la discusión de los resultados alcanzados en el presente estudio, será abordada de esa manera.

5.1. Resultados sobre parámetros físico químicos

En la Tabla 20 se muestran ocho parámetros de calidad del agua, provenientes de la revisión bibliográfica (CIPCA 2020b; FAO y MAG, 2011 y Agrotendencia, s.f.), comparados con los promedios obtenidos en el presente estudio.

Para el parámetro **Alcalinidad**, los valores obtenidos en el presente estudio (estanques y respectivos afluentes), se enmarcan en lo recomendado por Agrotendencia (s.f.), pues están por encima de los 20 mg/l. Una alta alcalinidad, le confiere al agua una capacidad amortiguadora del pH (OTCA, 2016); por tanto, esta situación es favorable para todos los estanques piscícolas.

Entre los afluentes naturales, la del municipio El Puente (VY1), presenta una alcalinidad levemente inferior (19,50 mg/l) a la recomendada; esto puede deberse a que el agua proviene de una fuente surgente, con una profundidad de 60 m.

Tabla 20
Producción piscícola sostenible, provincia Guarayos-Santa Cruz.
Comparación entre parámetros evaluados en el presente estudio y resultados de otras investigaciones consultadas

Variable	Documentos de otras investigaciones			Procedencia	
	CIPCA (2020b)	FAO y MAG (2011)	Agrotendencia (s.f.)	Estanque piscícola	Afluente natural
Alcalinidad (mg/l)	-	-	> 20	99,5 ± 11,7	105,4± 24,2
Amonio no ionizado (mg/l)	-	< 0,1	-	0,12 ± 0,1	0,14 ± 0,1
Compuestos nitrogenados-nitritos, nitratos y amonio (mg/l)	-	0,1 a 0,3	< 0,1	56,7 ± 17,8	14,7 ± 8,4
Dureza (mg/l)	-	20 a 30	> 20	59,7 ± 8,8	80,6 ± 19,4
Oxígeno disuelto (mg/l)	> 4	3 a 8	> 3	5,9 ± 0,9	5,2 ± 0,4
pH	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	8 ± 0,1	7,5 ± 0,2
Temperatura (° C)	24 a 32	20 a 28	24 a 29	30,7 ± 0,3	25,6 ± 0,2
Transparencia (cm)	50	20 a 55	-	34,8 ± 3,1	36,8 ± 6,7

Fuente: elaboración propia

Respecto al **amonio no ionizado** (tóxico), los niveles encontrados en el presente estudio (0,12 ± 0,1 para estanques y 0,14 ± 0,1 para afluentes), sobrepasan el nivel recomendado (<0,1 mg/l) por la FAO y MAG (2011).

Cuatro estanques piscícolas del municipio Ascensión de Guarayos (uno en Jesús Nazareno y tres en Río Chico), sobrepasan notoriamente el nivel recomendado; siendo además determinantes para elevar el promedio de amonio tóxico en los estanques.

Los respectivos afluentes naturales de los estanques señalados en el párrafo anterior, muestran bajos niveles de amonio tóxico (0,03 y 0,00 mg/l, respectivamente), lo cual permite señalar que existe un impacto significativo de la actividad piscí-

cola sobre este parámetro de las fuentes de agua de dichas comunidades. Pero, la diferencia en los valores se explica ya que se de alimento todos los días a los peces de los estanques y, como afirman Obregón y Duvan (2006), que los peces como producto de su excreción liberan amonio de dos formas: amonio tóxico (NH_3) y amonio ionizado (NH_4).

En cuanto a los **compuestos nitrogenados** (básicamente **nitrito**), los contenidos promedio de los estanques piscícolas (56,7 ± 17,8) y correspondiente promedio de afluentes naturales (14,7 ± 8,4), son notoriamente superiores a los rangos recomendados por FAO y MAG (2011) (0,1 a 0,3 mg/l) y Agrotendencia (s.f.) (< 0,1 mg/l).

Sin excepción, todos los estanques piscícolas y respectivos afluentes naturales, muestran niveles de nitrito muy por encima de los parámetros recomendados por FAO y MAG (2011) (0,1 a 0,3 mg/l) y Agrotendencia (s.f.) (< 0,1 mg/l). Es una situación anómala, que nos induce a sugerir que se debe recabar nuevamente muestras y realizar otro análisis para corroborar los hallazgos.

Si se confirman los registros de nitrito, habrá que tomar medidas de inmediato, puesto que según BERNARDOLABS (2017), los nitritos son tóxicos a los peces, y deben monitorearse muy de cerca, ya que pueden ocasionar enfermedades. Peor aún si los niveles de cloro y oxígeno están muy bajos.

Los tenores de **dureza** en el presente trabajo, tanto en los estanques (59,7 ± 8,8) como en los afluentes naturales (80,6 ± 19,4), están acorde a lo recomendado por FAO y MAG (2011) (20 a 30 mg/l) y Agrotendencia (s.f.) (> 20 mg/l).

De los doce estanques piscícolas evaluados, uno en el municipio Ascensión de Guarayos (PVF1 con 114 mg/l) y otro en El Puente (PY2 con 78 mg/l), muestran dureza de agua consideradas como Moderadamente dura (75 a 150 mg/l), siguiendo la clasificación de Agricultura Hoy (2013).

En cuanto al **oxígeno disuelto**, los promedios obtenidos en este estudio, tanto de los estanques (5,9 ± 0,9), como de los afluentes naturales (5,2 ± 0,4), son concordantes a los recomendados por CIPCA (2020b) (> 4 mg/l), FAO y MAG (2011) (3 a 8 mg/l) y Agrotendencia (s.f.) (> 3 mg/l).

Dos estanques piscícolas en Ascensión de Guarayos (PRH3 con 2 mg/l y PVF2 con 1 mg/l), muestran niveles deficitarios de oxígeno disuelto. Según OTCA (2016), esto puede provocar que los peces asciendan hasta la superficie del agua buscando tomar oxígeno atmosférico (acción que realizan entre las 5 a 7 am), para lo cual se adaptan con el rápido desarrollo del labio inferior.

Los contenidos promedio de **pH** alcanzados por los estanques (8 ± 0,1) y afluentes (7,5 ± 0,2) en el presente estudio, están acordes a los recomendados por CIPCA (2020b) (6,5 a 8,5), FAO y MAG (2011) (6,5 a 8,5) y Agrotendencia (s.f.). (6,5 a 8,5).

Ninguno de los estanques piscícolas supera un pH mayor a 8,77, lo cual es conveniente, pues se enmarca en lo que recomienda IIFAP (2013) que indica que los peces pueden tolerar un rango de pH entre 6 y 9,5.

Respecto a **temperatura**, los valores de los estanques (30,7 ± 0,3) y afluentes (25,6 ± 0,2) del presente estudio se enmarca en lo recomendado por CIPCA (2020b) (24° a 32° C). Pero la temperatura promedio de los estanques (30,7 ± 0,3) es levemente superior a la temperatura máxima recomendada por FAO y MAG (2011) (28° C) y Agrotendencia (s.f.) (29° C).

Una revisión de los registros de temperatura de los estanques piscícolas y respectivos afluentes naturales, indica que no todos se encuentran en el rango recomendado. Sin embargo, según recomienda IIFAP (2013), es importante no sobrepasar el límite máximo de temperatura, puesto que los peces aceleran su metabolismo, incrementando la tasa de respiración y, por tanto, el consumo de oxígeno.

La **transparencia** del agua, registrada en el presente estudio en los estanques piscícolas (34,8 ± 3,1) y afluentes naturales (36,8 ± 6,7), se enmarca en lo recomendado por FAO y MAG (2011) (20 a 55 cm) y resulta inferior a lo recomendado por CIPCA (2020b) (50 cm).

Según análisis de cada estanque piscícola, se detectan dos estanques en el municipio Ascensión de Guarayos (PRCH2 con 19,67 cm y PVF2 con 18,67 cm), con valores de transparencia por debajo del nivel recomendado (20 a 55 cm). Según Herrera (2012), estos niveles se considerados como demasiado turbios; si

la turbidez es por fitoplancton, habrá un bajón en el oxígeno disuelto; y si es por partículas suspendidas del suelo, la productividad será baja.

Respecto a la **conductividad** eléctrica del agua, los promedios registrados en los estanques piscícolas (232,9 ± 26,5) y correspondiente promedio de afluentes naturales (196 ± 30,7), se enmarcan en el nivel recomendado por González-Legarda, *et al* (2018), quien sugiere aguas de baja salinidad (< 280 µS/cm) para la piscicultura.

En cuatro estanques piscícolas (PI1, PVF1, PVF3 y PWQ1), al igual que en los afluentes naturales (VVF1 y VWQ1), del municipio Ascensión de Guarayos, se encontraron niveles de conductividad por encima de lo recomendado por González-Legarda, *et al* (2018). Esto podría estar relacionado, básicamente, con los sólidos disueltos del suelo (al tratarse de estanques en suelo no revestido), como lo sugiere OTCA (2016).

Los contenidos de **cloruro en** estanques piscícolas (0,3 ± 0,1) y afluentes naturales (0,2 ± 0,1), se encuentran en el rango sugerido por BERNARDOLABS (2017) que indica que, para algunos peces, los niveles de cloruro mayores a 400 mg/l pueden ser perjudiciales.

Revisando los contenidos de cloruro en cada uno de los estanques piscícolas y respectivos afluentes naturales, se ubica a dos estanques del municipio Ascensión de Guarayos (PJN1 y PRCH1, ambos con 0,80 mg/l) con los máximos contenidos de cloruro en el presente estudio.

Respecto al **calcio**, el promedio de los estanques piscícolas (12,7 ± 1,9) y correspondiente promedio de los afluentes naturales (18,7 ± 4,3), se encuentran por debajo de lo recomendado por Boyd (2015), quien señala que el carbono (CO_2) debe estar entre 100 a 500 mg/l. Con base en la recomendación de Boyd (2015), ninguno de los estanques piscícolas se enmarca en el rango óptimo de tenor de calcio.

Los promedios de **hierro** correspondientes al promedio de los estanques piscícolas (0,87 ± 0,2) y promedio de afluentes naturales (1,3 ± 0,4), están por encima del rango recomendado por Boyd (2015), quien señala que el rango aceptable de

hierro debe estar entre 0,05 a 0,50 mg/l. Por su parte Sandoval, Paredes y Ulloa (2015) indican que el hierro es un metal esencial para todos los organismos vivos. Cuando el hierro se presenta con una concentración demasiado alta en el agua, puede causar un fuerte daño branquial a los peces, e incluso la muerte.

Observando los contenidos de hierro en los dos municipios, se observa a seis estanques en Ascensión de Guarayos (PI1, PRCH2, PRCH3, PVF1, PVF2 y PVF 3) y uno en El Puente (PY1), con valores mayores al recomendado por Boyd (2015).

5.2. Resultados sobre parámetros biológicos

Respecto a la cantidad de especies de **fitoplancton**, se determinó mayor diversidad en los estanques que en los afluentes naturales. La literatura señala que este parámetro está relacionado, básicamente, con la transparencia/turbidez del agua, oxígeno disuelto, temperatura y abonado/fertilización de los estanques. Pero, no se conocen parámetros directos para su recomendación. La especie más frecuente fue *Trachelomonas* sp.

Para zooplancton, se halló mayor diversidad en estanques piscícolas que en sus respectivos afluentes. La especie más frecuente fue *Keratella cochlearis*.

En cuanto a coliformes, no se dispone de datos de abundancia ni diversidad en este estudio; pero se determinó su **presencia**, tanto en estanques piscícolas como en sus respectivos afluentes naturales. Al respecto Mora (2014) indica que los coliformes totales se han utilizado, tradicionalmente, para evaluar todo tipo de aguas; sin embargo, sus deficiencias como indicador de contaminación fecal, los hace poco prácticos para utilizarlos en aguas no tratadas, como ríos, mar, hielo y piscinas; también sugiere realizar muestreos mensuales, para conocer su dinámica en el tiempo.

6. CONCLUSIONES

Venta de pescado en el puesto de la Asociación Curuvina de Yotau, municipio del Puente. Foto: CIPCA Santa Cruz

6.1. Sobre parámetros físico químicos

En la mayoría de los parámetros físico químico no existen diferencias en los valores y todos se encuentran dentro de los rangos permitidos para una producción piscícola sostenible.

De los 15 parámetros evaluados, se encontraron diferencias estadísticas sólo en los siguientes casos:

- En todos los estanques piscícolas se registró mayor **temperatura** que en su respectivo afluente natural. Asimismo, fue altamente significativa la diferencia estadística entre el promedio de los estanques con el de los afluentes naturales.
- El contenido promedio de **nitrito** de los estanques piscícolas y afluentes naturales, mostraron diferencias estadísticas significativas. La mayoría de los estanques piscícolas, tiene mayor tenor de nitrito que su respectivo afluente natural.
- Los registros de temperatura, pH, alcalinidad y cloruro en los estanques piscícolas, están enmarcados en los rangos recomendados por los autores consultados en el presente estudio.
- Se detectaron contenidos de **conductividad** eléctrica, mayores a los recomendados, en cuatro estanques de Ascensión de Guarayos, insinuando un impacto bajo en la actividad piscícola sobre la calidad de agua.}
- Respecto a **dureza**, las aguas de tres estanques piscícolas (dos en Ascensión de Guarayos y uno en El Puente), tienen aguas moderadamente duras; el resto tiene aguas blandas. Eso, sin embargo, no impacta en la actividad piscícola, puesto que el agua de tres afluentes naturales, también tienen aguas moderadamente duras.

- El contenido de **oxígeno disuelto** registrado en dos estanques (PVF2, PRCH3) piscícolas de Ascensión de Guarayos, es deficitario, mostrando una alerta de impacto de la actividad piscícola sobre el agua, pues sus respectivos afluentes naturales tienen niveles aceptables de este parámetro.
- Dos estanques (PVF2, PRCH3) en Ascensión de Guarayos, no alcanzan el nivel mínimo de **transparencia** del agua; al igual que algunos afluentes naturales (VVF), por lo que no se puede aducir impacto negativo de la piscicultura sobre este parámetro de calidad del agua.
- Los niveles de **calcio** son deficitarios en todos los estanques al igual que en los afluentes naturales. La bibliografía consultada recomienda un rango óptimo que oscila entre 100 a 500 mg/l, mientras que el nivel máximo de calcio encontrado en este estudio es de 35,6 mg/l, correspondiente a un afluente natural de Ascensión de Guarayos.
- Respecto a **hierro**, queda descartada la posibilidad de un probable impacto de la actividad piscícola, ya que siete estanques y seis afluentes muestran contenidos por encima de lo recomendado para la actividad piscícola.
- Los contenidos de **amonio tóxico** registrados en cuatro estanques de Ascensión de Guarayos, se encuentran por encima del nivel máximo recomendado; este es un argumento para definirlo como impacto negativo de la actividad piscícola, puesto que sus respectivos afluentes naturales tienen niveles normales.

6.2. Sobre parámetros biológicos

Respecto al plancton (fito y zoo), en la mayoría de los estanques piscícolas se halló mayor diversidad que en sus respectivos afluentes naturales. Esto es normal, por el manejo que se hace en los estanques (fertilización y provisión de alimento), promueve el incremento de la población del plancton. Pero es necesario conocer la densidad poblacional del fitoplancton para promover la masificación de especies benéficas, sin embargo, el presente estudio no tomó en cuenta la densidad.

Debido a la presencia de coliformes en los estanques piscícolas y respectivos afluentes naturales, estas aguas no serían aptas para el consumo humano.

7. RECOMENDACIONES

Área de procesamiento de pescado en la Asociación Curuvina de Yotau, municipio del Puente. Foto: CIPCA Santa Cruz.

Respecto de posibles impactos ambientales de la actividad piscícola en la zona de estudio —conductividad eléctrica elevada, altos contenidos de amonio tóxico y bajos contenidos de oxígeno disuelto en los afluentes naturales—, es necesario **implementar un sistema de monitoreo** para cada estanque (extendido a los 74 estanques instalados y los que se instalen en el futuro), donde se registren los parámetros señalados y otros relacionados, con el propósito de tomar decisiones oportunas, para hacer que la actividad piscícola sea sustentable.

Sobre los niveles deficitarios de calcio en todos los estanques y respectivos afluentes; al igual que los altos contenidos de hierro en más del 50% de los estanques y respectivos afluentes, inducen a recomendar **la realización de un estudio de suelos**, como **condicionante para implementar la actividad piscícola** en determinado lugar. Es decir, la decisión de construir el estanque no debe estar condicionada únicamente a la existencia de un afluente cercano.

Considerando que el plancton se constituye en la base de la cadena alimentaria para los peces, se deben implementar/promover ensayos tendientes a **cuantificar la población por especie de fitoplancton y zooplancton.**

Respecto a coliformes y con perspectiva de futuro –cultivos asociados: peces y cultivos vegetales–, es necesario **implementar ensayos** para **conocer las especies de bacterias** presentes en los estanques piscícolas, aplicando criterios de uso de aguas residuales para cultivo.

Asimismo, se recomienda difundir este estudio entre instituciones públicas y privadas para la gestión de políticas públicas de fomento al rubro piscícola en sus proyectos y programas.

También se debe de continuar aplicando las buenas prácticas piscícolas, tanto con grupos productivos a nivel comunal, como a nivel individual para acceder al registro piscícola que otorga el SENASAG, que certifica la aplicación de las buenas prácticas.

Finalmente, es importante continuar con el fortalecimiento de la actividad piscícola a través de innovaciones tecnológicas para mejorar la productividad y tratamiento de aguas (micro organismos eficientes, acuaponía etc.).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acuicultura Hoy. 2013. Consideraciones acuícolas, recurso agua en acuicultura, parámetros físicos y químicos. En línea:

https://tinyurl.com/ak2yaw

(acceso 15/03/2020).

Agrotendencia. s.f. Cultivo de la cachama. En línea: https://tinyurl.com/sn573sxx

(acceso 20-04-2020).

Avdalov Nathan, Nelson. 2014. *Beneficios del consumo de pescado*. Montevideo: DINARA; INFOPESCA.

BERNARDOLABS, Bernardo Laboratorios S.R.L. s.f. Parámetros clave de la calidad del agua para piscicultura. En línea: https://bernardolabs.com/parametros-clave-de-la-calidad-de-aguas-de-riego-y-suelos/

Bolivia. INE. 2013. *Censo agropecuario Estado Plurinacional de Bolivia 2013*. La Paz.

Bolivia. MDRyT. s.f. Institución Pública Desconcentrada de Pesca y Acuicultura "IPD-PACU". En línea: http://www.pecesvida.org/wp-content/uploads/2014/05/IDP-PACU-folleto.pdf

Boyd, C. E., 2017. El fitoplancton y su impacto en la calidad del agua. Global Aquaculture Advocate. En línea: https://tinyurl.com/thm4khc2 (acceso 20/3/21).

Canal, E.; Lombardo, U.; Lomeña, M.; Mamani, J.; Pascual, J.; Romero, I.; Via, M.; Wiefels, R. 2007. *Piscicultura rural: una experiencia de desarrollo en la Amazonia boliviana*. Barcelona: CEAM: Barcelona.

CIPCA. 2020 a. *La piscicultura en la Amazonía Boliviana, casos de estudios de la Provincia Guarayos*. Santa Cruz.

CIPCA. 2020b. *Guía técnica producción de peces en la Provincia Guarayos*. Santa Cruz.

CIPCA-SC. 2018. Propuesta económica productiva del CIPCA Santa cruz. Documento interno. Centro de Investigación y Promoción del Campesinado. Santa Cruz.

Claude E. Boyd. 2015. *Consideraciones sobre la calidad del agua y del suelo en cultivos de camarón*. Alabama: Department of Fisheries and Allied Aquacultures.

Coman, F.E.; Connolly, R.M.; Preston, N. P. 2003. Zooplankton and epibenthic fauna in shrimp ponds factors influencing assemblage dynamics. *Aquaculture Research*, 34(5): 359-371.

González-Legarda, Edgar; Imués-Figueroa, Marco; Duque-Nivia, Guillermo; Burbano-Gallardo, Elizabeth; Guerrero-Romero, Camilo. 2018. Efecto de la producción acuícola sobre las variables de calidad del agua del Lago Guamuez. *Revista investigación pecuaria*, (5)1.

Escuelapedia.com (2020). Ecología del zooplancton.

EDUCA. 2020. Mapa de la provincia Guarayos. Disponible en: https://www.educa.com.bo/geografia/provincia-guarayos-mapa

FAO. 2018. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Roma

2006. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Roma

1999. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Roma

FAO; MAG. 2011. *Manual básico de piscicultura para Paraguay*. Asunción: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Vice ministerio de Ganadería.

FONDEPES. 2004. *Manual de Cultivo de Gamitana*. Lima: Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero.

HACH. Termodinámica. 2020. Amoniaco frente a amonio ¿Cuál es la diferencia entre estas formas de nitrógeno? *Termodinámica: control de flujos*. En línea: https://tinyurl.com/4pcurwh3 (acceso 20/3/21).

Herrera S. C. 2012. Factores físicos y químicos de los estanques camaroneros. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-León, Facultad de Ciencias y Tecnología, Departamento de Biología.

Sandoval Hurtado, Carlos; Paredes Herbach, Enrique; Ulloa Campo Manuel. 2015. Intoxicación por metales en peces. *VEHICE*. En línea: https://tinyurl.com/468jd8sn (acceso 20/3/21).

IIFAP, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de Sevilla, España. 2013). *Calidad del agua en sistemas de recirculación para la acuicultura (SRA) marina*. Sevilla

INFOZOA. 2014. Zooplancton. ¿Qué es el Zooplancton? *Boletín de Zoología volumen 3*: 1-20.

Kiran, B. 2010. Physico-Chemical Characteristics of fish ponds of Bhadra Project at Karnataka. *Rasayan Journal of Chemistry*, (3)4: 671-676.

Kubitza, F. (2017). Producción segura en estanques y sus fundamentos I. *Panorama Aquicultura*, (26)154.

IPCC. 2007. *Cambio climático 2007, informe de síntesis, contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático.* Bruselas.

Lim, Ch.; P.H., Klesius. 2000. El papel de los minerales traza en la salud de los peces. Alabama: U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Fish Diseases and Parasites Research Laboratory.

Martínez, L. 2018. Viabilidad y rentabilidad de la instalación de un centro de reproducción de peces en la comunidad del Chore del municipio de Yapacaní. Tesina para optar al título de ingeniería agropecuaria. Facultad Integral Ichilo (FINI – U.A.G.R.M.). Yapacaní, Santa Cruz.

Martínez C. L. R., *et al*. 2010. Alimento natural en acuacultura: revisión actualizada. En: Cruz-Suarez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J. (eds), *Avances en nutrición acuícola. Memorias del X Simposio Internacional de Nutrición Acuícola*, 8-10 de noviembre, San Nicolás de los Garza, Monterrey.

Mora, M. D. 2014. Criterios microbiológicos para evaluar la calidad del agua en sus diferentes usos. *Revista Costarricense de Salud Pública*, (17)13:15-24.

Obregón, Andrés. 2006. Limnología aplicada a la acuicultura. *REDVET: Revista Electrónica Veterinaria*, (7) 11: 1-24.

OTCA. 2016. *Piscicultura Amazónica con especies nativas: el ambiente acuático.* Brasilia: Organización del Tratado de Cooperación Amazónica.

Peces Para la Vida II. 2016). Mejorando la seguridad alimentaria en Bolivia. *Boletín informativo*, 3: 2-16.

Pereyra, P. G. 2013. *Guía Técnica Piscicultura. Iñapari – Tahuamanu – Madre de Dios*. Lima.

Pérez Porto, Julián; Gardey, Ana. 2012. “Definición de competencia”. En línea: http://definicion.de/competencia/ (acceso 19/4/21).

Prieto, G. M. J. 2006. Alimento vivo y su importancia en acuicultura. *Revista electrónica de ingeniería en producción acuícola*, (2)2. Universidad de Córdoba Departamento de Ciencias Acuícolas.

PROAIN. 2019. *Producción acuicultura en México: principales parámetros de calidad del agua*.

Rabassó K., M. 2006. Los impactos ambientales de la acuicultura, causas y efectos. *Vector plus: miscelánea científico-cultural*, 28: 89-98.

Ramírez M. K. 2014. Dinámica del fitoplancton en las aguas del cultivo de la Isla Santa Lucía y el Laboratorio de Investigaciones Marina y Acuícola (LIMA) en la comunidad Las Peñotas, León – Nicaragua.

Rivera F. K. K. 2016. Comunidades de fitoplancton y zooplancton en sistemas productivos piscícolas de Cabeceras de Bobonaza, Veracruz, Pastaza. Puyo-Pastaza-Ecuador. Tesis de grado. Universidad central de Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas.

Soto, D.; Quiñones R. 2013. *Cambio climático, pesca y acuicultura en América Latina, potenciales impactos y desafíos para la adaptación*. Taller FAO/Centro de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sur Oriental (COPAS), Universidad de Concepción, Concepción, Chile. (Actas de Pesca y Acuicultura, 29). FAO: Roma.

Centro de Investigación y Promoción del Campesinado

Con el apoyo de:

Secours Catholique Caritas France

AFD Agence Française de Développement

FFEM Fonds Français pour l'Environnement Mondial

Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA)

Casilla 5484

Teléfono: (591-2)2910797 – Fax (591-2) 2910796
Calle Claudio Peñaranda Nº 2706, esquina Vincenti, Sopocachi

Correo electrónico: cipca@cipca.org.bo

Página web: www.cipca.org.bo

La Paz, Bolivia

ISBN: 978-9917-603-03-C