

**SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES**

**Evaluación del desempeño de un modelo de sistema de recirculación en peces  
ornamentales en etapa de levante**

**Santos Eduardo Miranda, Yesenia Moreno Oviedo**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Zootecnista**

**Director**

**Fallón Yamile Riaño Jiménez**

**Zootecnista, M.Sc**

**Universidad Industrial De Santander**

**Instituto De Proyección Regional y Educación y Distancia-IPRED**

**Programa de Zootecnia**

**Málaga**

**2018**

**Dedicatoria**

**A mi padre** Pablito quien vive en mi día tras día.

Al poder de lucha y superación inculcado por **mi madre Gloria** a quien debo lo que soy y le agradezco con el más profundo amor. Madre eres y siempre serás mi ejemplo seguir... te admiro.

**A Santiago y Valentina**, mis amores, mi fortaleza y la luz que ilumina mi vida. A John por su incondicional amor.

A las esperanzas, oraciones y apoyo ilimitado de **mi madre Mariana**.

**A la grandiosa familia Moreno**, tíos y tías, hermanos de crianza, compañeros en cada momento vivido.

**A mis amigos, compañeros y maestros de vida** que dejaron huella y fortalecieron mi amor hacia la Zootecnia: Profe Joaquín Moreno, Fallón Riaño, Juan de Jesús, Rolando y Daniel.

**A Aoki** compañera de miles de recuerdos UIS Málaga y maravillosa amiga.

Gracias por su amor, compañía, y apoyo. Solo puedo ofrecerles una incondicional amistad, respeto y un gran amor a cada uno de ustedes.

*Yesenia Moreno Oviedo*

**Dedicatoria**

**A DIOS**

Por permitirme culminar un objetivo más de mi proyecto de vida

**A mi madre ROSALINA QUIRÓS.**

Por apoyarme en cada momento de la vida, por los consejos y por el amor que me das día tras día.

Gracias madre porque eres y serás lo más importante de mi ser.

**A mi padre PARMENIO MIRANDA**

Porque con su carácter me formo como persona de bien, porque día tras día es mi ejemplo a seguir y por enseñarme a trabajar y salir adelante.

A mis hermanos, amigos y demás familiares que siempre confiaron en mí y en todo momento me apoyaron y colaboraron para culminar este objetivo,

A Tatiana Ortiz por estar junto a mí en cada momento, apoyarme en todo y por ayudarme a superar los obstáculos que se presentan en este arduo camino.

A los profesores que guiaron y fomentaron el amor por el estudio a la zootecnia:

Profe Joaquín Moreno, Fallón Riaño, Rolando Millán, y Daniel Theran

*Santos Eduardo Miranda Quiroz*

## **Agradecimientos**

Toda nuestra gratitud a la profesora Fallón Yamile Riaño Jiménez por su acompañamiento, paciencia, y amistad. Sin su apoyo y cariño no sería posible este trabajo. Gracias por la huella imborrable que marco en nuestras vidas.

Agradecimientos sinceros al profesor Joaquín Moreno y a Juan de Jesús Vargas por sus aportes, correcciones e incondicional afecto.

A todos los compañeros que apoyaron nuestro trabajo día a día en el laboratorio y quienes compartieron nuestros sueños en la creación del laboratorio de Acuicultura.

A doña Chechi, por su apoyo administrativo, infinito cariño y respeto.

## Tabla de contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	17
1. Problema .....	20
2. Objetivo.....	21
2.1 Objetivo general.....	21
2.2 Objetivos específicos .....	21
3. Marco referencial .....	22
3.1 Antecedentes .....	22
3.2 Situación actual de los peces ornamentales en América Latina .....	23
3.3 Cadena productiva de explotación de peces ornamentales .....	24
3.4 Experiencias de utilización de SRA.....	26
3.5 Santander y la producción acuícola .....	28
4.Marco teórico .....	29
4.1 Producción de peces ornamentales en cautiverio.....	29
4.2 Peces ornamentales de mayor comercio .....	32
4.3 Sistemas de recirculación acuícola (SRA).....	33
4.4 Pez escalar, <i>Pterophyllum scalare</i> .....	34
4.5 Pez cebra, <i>Danio rerio</i> .....	37
4.6 Alimento vivo para peces ornamentales .....	37

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

4.6.1. Microgusano de la avena .....	38
4.6.2 Artemia salina. ....	38
4.6.3 Pulga de agua. ....	40
4.6.4 Escarabajo de la harina, Tenebrio molitor. ....	40
4.7 Marco legal .....	42
4.7.1 Decreto número 1780 de 2015. ....	42
4.7.2 Proyecto de Ley 025 de 2014. ....	43
4.7.3 Decreto número 4181 de 2011. ....	43
4.7.4 Ley 13 de 1990, por el cual se dicta el estatuto general de pesca. Decreta .....	43
4.7.5 Decreto 2256 de 1991: por el cual se reglamenta la ley 13 de 1990. Decreta .....	44
5 Diseño metodológico .....	45
5.1 Tipo de estudio. ....	45
5.2 Localización .....	45
5.3 Metodología .....	45
5.3.1 Diseño y adecuación del sistema de recirculación acuícola (SRA). ....	45
5.3.2 Periodo experimental para el establecimiento del sistema. ....	49
5.3.3 Individuos experimentales .....	50
5.3.4 Diseño y manejo experimental. ....	51
5.3.5 Alimentación. ....	51
5.4 Parámetros evaluados. ....	53
5.4.1 Parámetros de calidad de agua. ....	54
5.4.2 Parámetros productivos y biométricos. ....	54
5.4.3 Parámetros de crecimiento. ....	55

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

5.4.4 Parámetros de consumo. ....	55
5.4.5 Parámetros de eficiencia del SAR.....	55
5.4.6 Parámetros económicos. ....	56
5.5 Diseño estadístico .....	56
6.1 Parámetros de calidad del agua.....	57
6.1.1 Temperatura. ....	57
6.1.2 Color.....	59
6.1.3 Otros parámetros de calidad de agua. ....	59
6.2 Parámetros productivos y biométricos.....	62
6.2.1 Sobrevivencia.....	62
6.2.2 Medidas biométricas relacionadas al peso y la longitud corporal. ....	65
6.3 Parámetros de crecimiento.....	68
6.3.1 Tasa de crecimiento específico. ....	68
6.3.2 Modelo de crecimiento Gompertz. ....	70
6.4 Parámetros de consumo .....	73
6.4.1 Consumo estimado.....	73
6.5 Parámetros económicos .....	76
6.6 Ingreso.....	81
6.7 Punto de equilibrio.....	81
6.8 Eficiencia en ahorro hídrico y eléctrico .....	82
6.8.1 Pérdida de agua por limpieza. ....	82
6.8.2 Ahorro energético. ....	83
7. Conclusiones.....	83

# SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

8. Recomendaciones .....	85
Referencias bibliográficas.....	86
Apéndices.....	94

**Lista de tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Determinadas empresas productoras de peces ornamentales .....	31
Tabla 2. Componentes de un sistema de recirculación acuícola.....	34
Tabla 3. Composición nutricional de la artemia salina.....	39
Tabla 4. Variación en la composición nutricional de T. molitor en algunos estadios .....	41
Tabla 5. Parámetros de calidad de agua obtenidos durante el experimento .....	60
Tabla 6. Medidas biométricas de escalares y peces cebra .....	66
Tabla 7. Tasa específica de crecimiento y ganancia de peso y longitud en escalares y cebras ....	69
Tabla 8. Parámetros de crecimiento para peces cebra con el modelo de Gompertz.....	71
Tabla 9. Factor de condición corporal inicial y final para las especies estudiadas.....	72
Tabla 10. Costos fijos .....	76
Tabla 11. Costos variables .....	80
Tabla 12. Ingresos obtenidos. ....	81

**Lista de figuras**

	<b>Pág.</b>
<i>Figura 1.</i> Exportación de peces ornamentales en Colombia.....	23
<i>Figura 2.</i> Cadena productiva de los peces ornamentales en Colombia.....	25
<i>Figura 3.</i> Estadios de <i>Tenebrio molitor</i> .....	41
<i>Figura 4.</i> Ubicación del SRA dentro del laboratorio de acuicultura.....	46
<i>Figura 5.</i> Montaje y medidas de los acuarios del sistema de recirculación.....	47
<i>Figura 6.</i> Conexiones del acuario.....	48
<i>Figura 7.</i> Filtro del sistema de recirculación.....	48
<i>Figura 8.</i> Sistema de recirculación.....	49
<i>Figura 9.</i> Variación en la temperatura durante el periodo de adaptación. ....	58
<i>Figura 10.</i> Supervivencia acumulada de las especies <i>D. rerio</i> y <i>P. scalare</i> durante el periodo experimental. ....	62
<i>Figura 11.</i> Peso promedio de escalares y cebras en el periodo experimental.....	65
<i>Figura 12.</i> Longitud estándar en la población estudio.....	66
<i>Figura 13.</i> Crecimiento observado y predicho de peces cebras ( <i>Danio rerio</i> ).....	72
<i>Figura 14.</i> Consumo estimado de alimento balanceado y alimento vivo de los escalares....	74
<i>Figura 15.</i> Consumo estimado de alimento balanceado y alimento vivo para las cebras.....	74

**Lista de apéndices**

	<b>Pág.</b>
Apéndice A: Figura 8. Porcentaje de materia seca producida por el microgusano.....	94
Apéndice B: Figura 9. Peso del microgusano con el paso de los días. ....	95
Apéndice C: Figura 10. Crecimiento en el tiempo de la población de microgusano. ....	96
Apéndice D: Construcción sistema de recirculación.....	97
Apéndice E: Recepción y aclimatización de animales.....	98
Apéndice F: Selección de individuos .....	99
Apéndice G: sistema de recirculación .....	100
Apéndice H: toma de medidas biométricas.....	101
Apéndice I: toma de medidas biométricas .....	102
Apéndice J: pesaje de alimento .....	103
Apéndice K: kit para medir calidad de agua. Medición de nitratos y nitritos.....	104
Apéndice L: kit para medir calidad de agua. pH, oxígeno disuelto, dureza.....	105
Apéndice M: kit para medir calidad de agua. Alcalinidad.....	106
Apéndice N: kit para medir calidad de agua. Amonio. ....	107
Apéndice O: kit para medir calidad de agua. Amonio. ....	108

# SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

## RESUMEN

**TÍTULO:** EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN MODELO DE SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES EN ETAPA DE LEVANTE.

**AUTORES:** SANTOS EDUARDO MIRANDA Y YESENIA MORENO OVIEDO\*

**PALABRAS CLAVES:** SISTEMA DE RECIRCULACIÓN ACUÍCOLA, PECES ORNAMENTALES, LEVANTE

### DESCRIPCIÓN:

Los sistemas de recirculación acuícola permiten hacer un manejo eficiente de los recursos y ayudan a mantener las condiciones ambientales controladas para la producción. El propósito de este trabajo fue evaluar la eficiencia de un sistema acuícola de recirculación (SAR) para la producción de peces ornamentales en etapa de levante. Se diseñó y construyó un SAR de 9 acuarios y un filtro, con capacidad de 323 litros de agua aproximadamente. Cuando se lograron las condiciones adecuadas en el sistema (calidad y flujo del agua) se alojaron 60 individuos *Pterophyllum scalare* con edades de 30 a 60 días y 60 individuos *Danio rerio* con  $18 \pm 2$  días de edad. Periódicamente se evaluaron parámetros de calidad de agua y parámetros productivos, al finalizar el ensayo se evaluó la eficiencia del sistema en términos de ahorro energético e hídrico y se tuvieron en cuenta algunos indicadores económicos. Respecto a los parámetros de calidad de agua se logró mantener la temperatura, pH, oxígeno, nitritos, dureza y alcalinidad dentro de los rangos ideales para las dos especies, evidenciando el correcto funcionamiento del SAR. En términos de crecimiento, se observó un desarrollo adecuado de las especies y una adaptación positiva al SRA. Fue posible describir el crecimiento de las cebaras con la función de Gompertz, encontrándose que los individuos se aproximaban a su edad adulta, a diferencia de los escalares que aún se encontraban en una fase juvenil muy temprana. El tamaño y capacidad del SAR no permiten un punto de equilibrio en corto tiempo, debido a la escala de construcción, no obstante, se logra un ahorro de 93% de agua y un 78% de ahorro energético. Se concluye que el SAR es eficiente para el levante de especies diferentes, favoreciendo un uso adecuado de los recursos y cuidado de los individuos.

---

\*Trabajo de grado

\*\*Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia-IPRED. Programa de Zootecnia. Director: Fallon Yamile Riaño Jiménez, Zootecnista, M.Sc

## ABSTRACT

**TÍTULO:** EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF A MODEL SYSTEM OF RECIRCULATION IN ORNAMENTAL FISH IN STAGE OF EAST

**AUTHORS:** SANTOS EDUARDO MIRANDA Y YESENIA MORENO OVIEDO<sup>†</sup>

**KEYWORDS:** SYSTEM OF AQUICULTURAL RECIRCULATION, ORNAMENTAL FISH, EAST

### DESCRIPTION:

Aquaculture recirculation systems allow an efficient management of resources and help maintain controlled environmental conditions for production. The aim of this work was to evaluate the efficiency of a recirculation aquaculture system (RAS) for the production of ornamental fish in the growing stage. A RAS of 9 aquariums and a filter was designed and constructed, with a capacity of approximately 323 liters of water. When adequate conditions were achieved in the system (water quality and flow), 60 *Pterophyllum scalare* fishes aged 30 to 60 days and 60 *Danio rerio* fishes aged  $18 \pm 2$  days were housed. Periodically, parameters of water quality and productive parameters were evaluated. At the end of the trial the efficiency of the system in terms of energy and water saving was evaluated and some economic indicators were taken into account. With regard to water quality parameters, it was possible to maintain the temperature, pH, oxygen, nitrites, hardness and alkalinity within the ideal ranges for the two species, evidencing the proper functioning of the RAS. In terms of growth, there was an adequate development of the species and a positive adaptation to the RAS. It was possible to describe the growth of the *Danio rerio* with the function of Gompertz, finding that the individuals approached their adult age, unlike the scalars that were still in a very early juvenile phase. The size and capacity of the SAR do not allow a point of equilibrium in a short time, due to the scale of construction, however a saving of 93% of water and 78% of energy saving is achieved. It is concluded that RAS is efficient for the raising of different species, favoring an adequate use of resources and care of individuals.

---

•Bachelor Thesis

•Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia-IPRED. Programa de Zootecnia. Director: Fallon Yamile Riaño Jiménez, Zootecnista, M.Sc

## Introducción

Colombia es uno de los países con mayor diversidad de fauna y flora a nivel mundial gracias a su localización estratégica y las riquezas en recursos naturales que posee. Sin embargo, muchos de estos recursos se encuentran en riesgo por la sobreutilización, la minería, la extracción ilegal de especies, la entrada de especies exóticas, entre otras causas (SINA, 2015).

La fauna acuática no es una excepción y su afectación es mayor día a día. La contaminación de afluentes aumenta con el crecimiento de las industrias y a su vez los cambios climáticos afectan la reproducción de las especies en su hábitat natural, aumentan la competencia por territorios y disminuye el número de especies presentes en cierto territorio. Junto a estas problemáticas la sobrepesca y la destrucción de acuíferos, han llevado a gran variedad de especies a estar en vía de extinción (Parrado, 2012).

Los peces a nivel de los años se han convertido en una fuente de alimentación y economía local principalmente para las poblaciones rivereñas y costeras. En la actualidad el mercado de especies acuícolas ornamentales se ha convertido en un importante renglón comercial a nivel local y nacional, cuya oferta depende principalmente de la pesca y el comercio ilegal, generando que muchas especies se encuentren vulnerables o en peligro de extinción (OCDE, 2016).

Las especies ornamentales de agua dulce más apetecidas en el mercado se encuentran especialmente en los afluentes del Amazonas y el Magdalena. Entre ellas se puede destacar a los peces discos, los escalares, los peces lápiz y hoja, los tetras, las arawanas, entre otras (Landines, Sanabria y Daza. 2007), Según el mismo autor, buscado disminuir el impacto ambiental que genera la pesca ilegal y la extracción de individuos de su hábitat natural (especialmente

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

individuos en etapa reproductiva), se da la creación de centros investigativos y sistemas productivos de especies acuícolas ornamentales en diferentes regiones del país. Estos centros suelen ubicarse principalmente en puntos estratégicos que favorecen la distribución y comercialización a nivel nacional e internacional de las especies y permiten la llegada a diferentes microempresarios de sus individuos. Sin embargo, existen limitantes en transporte, embalaje y cuidado que aumentan el costo de adquisición y a su vez disminuyen la rentabilidad de su venta a nivel local.

Uno de los mayores aumentos en el costo de los ejemplares, es su cuidado y alimentación en los locales de venta directa al cliente, en donde se presentan gastos de luz y agua, en la búsqueda de condiciones ambientales adecuadas para cada especie. Buscando estrategias que permitan el ahorro de esos servicios y a su vez ayudar a obtener producciones mayores en un mínimo espacio y gasto (sin disminuir las necesidades y la calidad de vida de las especies) la acuicultura ha creado los sistemas de recirculación acuícola (SAR) (David y Castañeda, 2011).

Los SAR propician un ahorro notorio del agua, manteniendo ciclos productivos completos (según el objetivo de producción) sin la constate renovación del recurso hídrico; solo se requiere la adición de las pérdidas por evaporación. Esto es posible por un proceso de filtración que permite conservar las características del recurso en óptimas condiciones, favoreciendo un ambiente adecuado para las especies en cultivo. De igual manera se evita mantener una conexión constante de aireadores con gran costo de luz ya que la oxigenación se realiza físicamente (caída de agua). Estos sistemas han sido utilizados por diferentes centros de investigación a nivel mundial, mientras en Colombia su uso, ha aumentado en los últimos años. Sin embargo, existen variaciones de un modelo a otro y su eficiencia no es tomada en cuenta. En Santander la producción acuícola ha tenido un notorio avance en el que la implementación de nuevas

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

tecnologías se hace presente cada vez más, principalmente en zonas aledañas al área metropolitana. Sin embargo, en la provincia de García Rovira aun con la existencia de producciones acuícolas, es mínima la implementación de sistemas tecnológicos que contribuyan a mejorar su potencial productivo, sin el detrimento del medio ambiente (Cardenas y Cañavate, 1998).

Con esta propuesta se pretende implementar y evaluar un modelo de producción que promueva el uso y la investigación de especies ornamentales producidas en un SAR en la región de García Rovira, convirtiendo a la sede Málaga de la Universidad Industrial de Santander en líder del proceso de investigación en la producción acuícola destacando la producción de especies nativas en la región.

De igual manera se busca evaluar parámetros de crecimiento en dos especies ornamentales muy utilizadas en el mercado, como lo son los escalares y los peces cebras, datos necesarios para conocer el comportamiento productivo de los individuos y si existe una afectación del sistema de recirculación en el crecimiento de los individuos.

## 1. Problema

En Málaga el comercio de peces ornamentales se ha convertido en una actividad de importancia, notándose en el último año un aumento en la demanda de dichas especies. Este mercado aparentemente se ha sostenido exclusivamente por proveedores cuyos centros de distribución se encuentran establecidos en zonas cercanas a las principales ciudades del país y centros de alto comercio nacional e internacional. A pesar de la ausencia de información oficial o evidencias que permitan constatar la existencia de sistemas de producción de peces ornamentales, en la provincia existe un importante comercio de este tipo de especies.

El desconocimiento en los requerimientos para el establecimiento de este tipo de sistemas productivos, además de la escasez del recurso hídrico necesario para una producción sostenida, afecta la presencia o el desarrollo de sistemas de producción de peces ornamentales en este territorio, haciendo necesaria la implementación de sistemas que contribuyan a optimizar el uso del agua, permitan crear producciones sostenibles a través del tiempo de ejemplares que son utilizados como mascotas o como objeto de estudio en el área académica y disminuyan la dependencia existente a los mercados centrales para la adquisición de peces ornamentales.

Con base en ello la pregunta de investigación que surge es ¿Los sistemas de recirculación podrían ser el modelo adecuado para promover el desarrollo de sistemas de producción de peces ornamentales en el municipio de Málaga Santander?

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo general

Implementar y evaluar la eficiencia de un sistema acuícola de recirculación (SAR) para la producción de peces ornamentales en etapa de levante.

### 2.2 Objetivos específicos

- Evaluar la eficiencia de un sistema de recirculación acuícola en el mantenimiento de los parámetros de calidad del agua apropiados para el desarrollo de los peces.
- Identificar el comportamiento productivo de dos especies de peces ornamentales en etapa de levante utilizando un sistema de recirculación acuícola.
- Identificar la rentabilidad económica del sistema de producción bajo el modelo SAR.

## 3. Marco referencial

### 3.1 Antecedentes

La piscicultura en Colombia es una actividad productiva con especies cultivadas para consumo humano (cachama, tilapia, trucha, carpa, bocachico, yamú), pero con baja oferta para en producción de especies ornamentales, cuyas estadísticas aún no se registran en los informes nacionales de pesca y acuicultura. El comercio de peces ornamentales es una actividad importante para la economía nacional e internacional, a tal punto que Colombia se ha caracterizado por ser uno de los principales exportadores en Sur América, las cifras monetarias a las que llega esta actividad no son exactas, ya que desde los inicios de esta actividad (más de 3 décadas), la mayoría de los peces exportados corresponden a peces capturados del medio natural y, comercializados ilegalmente (Landines et al. 2007).

Esta situación se ha mantenido debido a que no se ha dado la transición de individuos salvajes a líneas producidas en cautiverio. Principalmente porque no se tiene conocimiento de la biología de la especie y no se han desarrollado proyectos eficientemente sostenibles, que permitan competir en el mercado con calidad. El limitado desarrollo de la producción ornamental en Colombia se debe al desconocimiento de la biología y del manejo zootécnico adecuado de las especies, a la dificultad para inducir la reproducción, por falta de adaptación a las condiciones de cautividad, así como a los altos estándares de calidad exigidos por el mercado internacional (Parada, Virgüez & Cruz. 2012). En la actualidad países como Indonesia, Singapur, China, Malasia y Japón tienen más del 50% de la oferta mundial de peces ornamentales, en los cuales se

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

manejan estadísticas actualizadas y resultados satisfactorios de producción. Mientras que en Colombia los reportes hasta el momento corresponden a prácticas de pesca extractiva (Panné y Luchini, 2008). Cada país ha implementado procesos metodológicos específicos adaptados a las características de su entorno, sin embargo, la metodología de otros países no es aplicable a Colombia, ya que las condiciones tecnológicas y medio ambientales no son iguales (Landines, 2007).

### 3.2 Situación actual de los peces ornamentales en América Latina

Los peces ornamentales en América del sur hacen parte de la economía local de poblaciones rivereñas, destacando a países como Brasil y Colombia cuya diversidad faunística sustentada en su riqueza hídrica, los convierte en países distribuidores a nivel internacional de diversas especies acuícolas ornamentales. Según la AUNAP-FAO (2014), gran parte del comercio de peces ornamentales depende de la extracción de su medio natural destinados principalmente al mercado extranjero, como se muestra en la Figura 1.

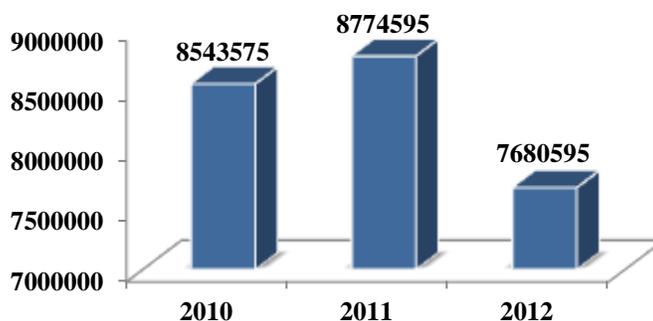


Figura 1. Exportación de peces ornamentales en Colombia. Adaptado de “AUNAP-FAO”, 2014.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

Colombia está categorizado como el segundo país con mayor biodiversidad del mundo, convirtiéndolo en un importante proveedor de especies compartidas y nativas predominando en el comercio las especies nativas, llamativas por su diversidad de colores, tamaños y formas, extraídas principalmente de las cuencas del Orinoco y el Amazonas (Correa, 2013). Las especies de peces ornamentales de mayor comercio en el país pertenecen a las familias *Characidae* (15.69%), *Loricaridae* (14.69%), *Cichlidae* (4.74%) y *Doradidae* (4.01%), existiendo familias con baja importancia en número de especies, pero con alto valor comercial como la *Osteoglossidae* y la *Potamotrygonidae* (Mancera y Alvarez, 2008).

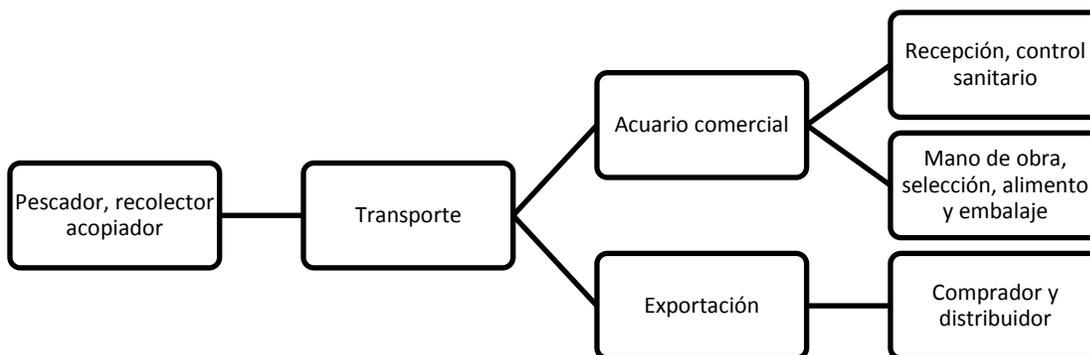
Según Correa (2013), a pesar del conocimiento existente sobre las familias más comercializadas, no existen datos oficiales por parte del INCODER que muestren cifras como el número de individuos por especie comercializados, el número de especies existentes en las cuencas hidrográficas, la cantidad de individuos que se encuentran en medio natural y los producidos en sistemas acuícolas. De igual existe muy poca reglamentación que contribuya a la protección de especies nativas y la existente no tiene seguimiento por parte de las entidades gubernamentales pertinentes.

### **3.3 Cadena productiva de explotación de peces ornamentales**

La base de la cadena productiva de la explotación de peces ornamentales en Colombia está constituida por los pescadores, quienes de forma artesanal extraen del medio natural ejemplares de diversas especies ícticas, para llevarlos a una serie de intermediarios que se encargan del acopio y comercialización a nivel nacional e internacional (figura 2) (Legiscomex, 2013).

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

La mayor parte de los peces ornamentales provenientes del Amazonas tienen acopio en Bogotá, donde según ACOLPECES existen aproximadamente 35 empresas dedicadas a reproducción y/o venta de peces ornamentales, además de ciudades como Medellín con 18 empresas y Cali con 13 dedicadas a estas actividades. El precio de los individuos comercializados en el exterior no es comparable con las ganancias recibidas por los pescadores y acopiadores nacionales, a pesar de ello esta actividad tiene un importante rol económico para las poblaciones indígenas del Amazonas y el Orinoco incluyendo de igual manera a los pobladores ribereños, actividad con mayor rentabilidad en la medida que se comercialicen peces de tallas pequeñas, ya que permiten un mayor número de individuos por área (Correa, 2013).



*Figura 2.* Cadena productiva de los peces ornamentales en Colombia. Adaptado de: Estudio de mercado Peces ornamentales en Colombia 2013. legiscomex.co. Disponible en: <http://www.legiscomex.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/estudio%20peces%20ornamentales%20completo3.pdf>

A pesar del establecimiento de la cadena productiva de peces ornamentales, dicha cadena no cuenta con un eslabón consolidado de producción en cautiverio, por lo que entidades gubernamentales como la AUNAP se están encargando del fomento en la implementación de sistemas productivos de peces ornamentales; ya que el daño causado por la extracción de peces

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

de su medio natural ha llevado a la vulnerabilidad y al riesgo de extinción de aproximadamente 53 especies dulceacuícolas (SIB Colombia, 2014); los factores de riesgo de la extracción están determinados principalmente por la captura de individuos juveniles y el sacrificio de los parentales por ejemplo aquellos que realizan incubación bucal, esto se traduce en una disminución progresiva de la población con potencial reproductivo.

Se habla en el DANE (2013), de la existencia de empresas dedicadas a la reproducción, transporte y comercialización de estas especies, empresas distribuidoras nacionales e internacionales y vendedores locales. Colombia no posee cifras oficiales de la existencia de empresas dedicadas al sector y cantidad de especies manejadas y vendidas en el país en cultivos y reproducción de peces in situ.

### **3.4 Experiencias de utilización de SRA**

La utilización de sistemas de recirculación ha sido asociada a producciones muy tecnificadas y proyectos investigativos. Existen experiencias en la utilización de estos sistemas a nivel mundial en diferentes especies y fases de cultivo (Engel, 2013).

El aumento de la producción de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en Estados Unidos a 9000 ton/año ocasiono la búsqueda de sistemas y técnicas para la optimización de la producción, convirtiendo a esta especie en la primera en cultivarse en sistemas de recirculación acuícola utilizando las técnicas más intensivas realizadas hasta el momento (Ocampo, 2007).

Pérez y Gonzales en 2008 (como menciona Hernández, 2009), menciona que en España se utilizan los SRA en producción de peces silvestres en estudios de patologías multifactoriales y la identificación de parásitos de la región.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

En el Instituto Tecnológico y Agrario Castilla y León las implementaciones de los sistemas de recirculación se realizaron con el fin de disminuir el gasto de agua, ya que se ahorra el 90% de este recurso.

Se encuentran reportes de la utilización en peces marinos como la dorada (*Sparus aurata*) en su etapa de pre-engorde, la lubina (*Dicentrarchus labrax*) y el sargo (*Diplodus sargus*), en los cuales se demostró que la utilización de sistemas de recirculación en ciertos casos aumento la densidad poblacional hasta 10 kg/m<sup>3</sup> y aporta a la disminución de la eutrofización marina (Cárdenas & Cañavate, 1998).

Las primeras investigaciones realizadas en la Universidad Militar Nueva Granada fueron en tilapia roja (*Oreochromis sp.*) donde se evaluó la influencia de la densidad de siembra sobre el crecimiento y la sobrevivencia de estos individuos; se evaluó de igual manera en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) los parámetros fisicoquímicos en su etapa de levante.

En Colombia las universidades Militar y Nacional han utilizado sistemas de recirculación sencillos y de bajo costo que contribuyan a la conservación de especies acuícolas que se encuentran en vía de extinción.

La Universidad Nacional de Colombia unida con productores del Valle estudio el sistema de cría en tres especies de peces ornamentales, dos nativas (*Symphysodon discus* y *Panaque cochliodon*) y una de gran comercio mundial (*Carassius auratus*), buscando crear protocolos de cría en sistemas de recirculación de estas especies y consolidar un sector económico importante para la exportación de estas especies (David & Castañeda, 2011).

De igual manera el grupo de ictiología realizo una evaluación de variables físico-químicas sobre algunas especies de peces ornamentales y de consumo de interés comercial como el *C. auratus*. Además, una evaluación de la cinética de crecimiento de *Osteoglossum bicirrhosum* en

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

un sistema cerrado de recirculación de agua para determinar de manera preliminar la viabilidad económica de esta actividad acuícola en la sabana de Bogotá. (Hernandez, 2009).

### **3.5 Santander y la producción acuícola**

Durante el periodo del 2008 al 2012 el PIB según el DANE, (2013) en Santander, destaco actividades como la explotación de minas y canteras (17,6%), construcción (14,9%) y transporte, almacenamiento y comunicaciones (4,8%), mientras actividades como la industria manufacturera (2,6%) y agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca (2,3%) tuvieron bajo aporte. Según el INCODER en el 2009 Santander represento el 3,8% de la piscicultura nacional, advierte que es uno de los departamentos con gran capacidad económica en el cual toda actividad que se desee realizar será prospera destacando en lo rural las producciones de alta inversión y tiempo como el cacao, la palma africana, frutales de clima frio, bovinos, porcinos y ovinos.

A corto plazo, según la misma entidad, cultivos como yuca, fique y tabaco tienen gran fortaleza en la zona. García Rovira es una de las provincias con mayor capacidad de comercio entre departamentos, con gran riqueza en praderas, recursos naturales en reserva y diversidad natural haciendo que sea un punto estratégico para el manejo de todo tipo de economía.

Sin embargo, su fortaleza declina en el abastecimiento de recurso hídrico a la población rural y urbana ya que depende de la temporada invernal a pesar del potencial en recursos hídricos de la región. Así mismo destaca, en el sector pecuario la ganadería lechera ha tenido un gran auge, sin olvidar las zonas de producción ovina y caprina.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

La existencia de datos sobre piscicultura en Santander es escasa a diferencia de la pesca continental que se ha convertido en un renglón de gran importancia en el sector del Magdalena medio.

De igual manera no existen datos estipulados que permitan conocer el comercio y producción de peces ornamentales en la región.

### **4. Marco teórico**

#### **4.1 Producción de peces ornamentales en cautiverio**

La utilización de peces ornamentales para fines productivos es una actividad cuyo fortalecimiento se basa en los avances del conocimiento de las especies con el fin de aplicar técnicas y tecnologías modernas para obtener parámetros productivos eficientes y sostenibles sin olvidar la protección del medio ambiente.

Se ha generado una división en la producción de peces ornamentales según la especie utilizada: producción de peces marinos y dulceacuícolas.

En Colombia, según el INCODER, la producción en cautiverio está basada en técnicas principalmente artesanales y cuyo crecimiento es notorio en sitios de investigación donde se implementan sistemas de mayor tecnología que permiten aumentar el área de estudio y mantener parámetros ambientales adecuados para la producción de especies sin importar el lugar del que provengan.

A raíz de la extracción del medio natural de especies ícticas, las tasas de captura y el comercio disminuyeron ya que redujeron poblaciones de peces nativos aptos para la ornamentación, se

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

buscaron alternativas productivas en cautiverio que permitieran proteger a las especies vulnerables y aumentar la productividad del sector.

Sin embargo, el desarrollo del sector se vio truncado por el desconocimiento biológico, del manejo zootécnico adecuado, dificultades para inducir la reproducción, baja adaptabilidad a la cautividad, altos estándares de calidad pedidos en mercados extranjeros para especies nativas y foráneas a pesar de la existencia de cultivos en Asia, Norte y sur América (Parada et al., 2012).

La existencia de asociaciones en Colombia es mínima, existiendo legalmente ACOLPECES como asociación de pescadores y exportadores de peces ornamentales de Colombia, fundada en 1972 que reúne más de dos mil familias indígenas y pescadores ribereños del Amazonas y el Orinoco.

Su función es la existencia de una extracción sostenible que permita la recuperación de especies y el fomento del uso de leyes estatales que permitan un desarrollo sostenible del sector (Agudelo, 2011).

Existen emprendimientos en ciertos departamentos del país, según Velázquez y Correa (2012), como Antioquia, Valle, Risaralda y Caquetá utilizando tecnologías y experimentos aplicados en otros países, pero con la dificultad de un eficiente desarrollo por las condiciones ambientales variables y muy diferentes a aquellas en las que dichos trabajos se realizaron.

Existen diversas empresas dedicadas a la producción, pero no registradas legalmente cuya evolución se ve limitada. La tabla 1 muestra ciertas empresas del sector. Su propietario, trayectoria en el mercado y los peces que maneja.

Es importante según los anteriores autores resaltar la existencia de dos fases dentro de la cadena productiva: en la primera se realiza todo el ciclo productivo en un mismo lugar evitando

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

el gasto por transporte de alevines y en la segunda no existe una etapa pos cosecha propiamente y el producto es el pez solamente.

Tabla 1.

*Determinadas empresas productoras de peces ornamentales.*

<b>Empresa, propietario, ubicación y trayectoria</b>	<b>Producto</b>
ALYPSO de Mauricio Posada. Cócona con 27 años en el mercado	Bettas, Melanotenia, Tetras, Barbus, Cíclidos, Discos, Guppys de velo, Bailarina, Telescopios, Molinesias, Platis, Guramis, Escalares, Colisas y Goldfish
SANTA CRUZ de Daniel Restrepo. Caucásica con 10 años en el mercado	Bettas, Barbus, Molinesias, Colisas, Escalares, Guramis, Cebras, Falsos discos, Espadas, Ramirezzi, Pingüinos y Monjitas
PISCÍCOLA SAN JUAN de Adolfo San Clemente. Tuluá con 4 años en el mercado	Bailarinas, Telescopios, Godfish, Cachama, Tilapia roja
PECESITOS.COM de Juan David Jaramillo. Cisneros con 3 años en el mercado	Goldfish, Bailarinas, Oscars, Guppys de velo, Cebras, Ciclidos

# SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

(Continuación tabla 1)

---

COCORNA	Bailarinas, Bettas, Oscars, Carpa coi, Cebras	Escalares,
ORNAMENTAL FISH de	Molinesia, Platis	
Luis Fernando Orozco,		
Cocorná por 2 años en el		
mercado		

---

Nota: Adaptado de: [http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/807/1/CREACION\\_EMPRESA\\_PISCICOLA\\_AGUAS\\_CLARAS.pdf](http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/807/1/CREACION_EMPRESA_PISCICOLA_AGUAS_CLARAS.pdf)

## 4.2 Peces ornamentales de mayor comercio

Existe diversidad de peces a nivel mundial que han sido destinados a ornamentación, unos obtenidos de sistemas productivos donde el trabajo realizado lleva a mejorar especies silvestres para que obtengan ciertas cualidades que las hacen más apetecidas en el mercado, mientras en su gran mayoría son extraídas de su medio natural (Landines et al. 2007).

En Colombia la mayoría de especies cultivadas son foráneas, las cuales en conjunto con las nativas contribuyen a la economía de los productores dedicados a esta actividad.

Buscando identificar las familias de peces ornamentales más utilizadas los autores mencionados realizaron una lista de familias y especies más importantes que se encuentran en nuestro país según su valor comercial y social.

Según el autor anterior, entre las familias y especies de peces ornamentales más destacadas en el comercio ornamental están:

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

- Los cíclidos cuyas especies más destacadas son el *Pterophyllum scalare*, *Symphysodon discus*, *Mesonauta festivus*, *Satanoperca jurupari*, *Astronotus ocellatus*.
- Cíclidos enanos como el *Apistograma cacatuoides* y el *Mykrogeophagus ramirezi*.
- Osteoglossidae con dos representantes conocidos como arawana azul y plateada y cuyos nombres científicos son *Osteoglossum bicirrhosum* y *Osteoglossum ferreirai*.
- Lorícaridos como *Ancistrus dolichopterus*, *Farlowella acus*, *Glyptoperichthys gibbiceps*
- Carácidos – Tetras como el *Gymnocorymbus ternetzi* y el *Copella metae*.
- La familia *poecilidae* a la cual pertenecen peces importantes como el *Poecilia reticulata*, *Poecilia sphenops* y *Xiphophorus maculatus*.
- Los Ciprínidos como el *Carassius auratus*, *BrachyDanio rerio*.
- Anabántidos en la cual está el *Betta splendens* y *Trichogaster trichopterus*.

### 4.3 Sistemas de recirculación acuícola (SRA)

Los sistemas cerrados de recirculación son utilizados en laboratorios de investigación, en el cultivo y mantenimiento de peces ornamentales y de consumo, en acuarios públicos y privados. Es una tecnología relativamente nueva cuyo costo de inversión y manejo operacional es alto, pero con la ventaja de optimizar la producción, el uso de instalaciones y el recurso hídrico (Arredondo et al. 1996).

Un sistema de recirculación debe ser utilizado con el fin de eliminar residuos inertes, elementos patógenos y facilitar el intercambio de gases con la fase líquida. Estos sistemas

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

pueden tener inyección de oxígeno líquido, la remoción de sustancias nitrogenadas y gasto energético, determinando la importancia de evaluar la relación costo-beneficio (Engel,2013).

Según Kubitza (2006) existe el sistema de una única línea de tratamiento de agua el cual puede presentar problemas en la difusión de enfermedades, por lo que se creó el sistema con tanques aislados. Un sistema de recirculación debe estar constituido por ciertos elementos definidos en el Tabla 2.

### 4.4 Pez escalar, *Pterophyllum scalare*

Avila, León & Guevara (2008), describen a los escalares como peces tropicales provenientes de la Orinoquia colombiana, pueden encontrarse en el Amazonas, Putumayo, Caquetá y Guaviare. Se caracterizan por su esbeltez lateral y forma triangular, proporcionada por el gran tamaño de sus aletas dorsales, anales y caudales. Las aletas abdominales forman dos radios largos que pueden llegar a medir 8 cm. Su longitud en su estado adulto en promedio es de 13 cm.

Tabla 2.

*Componentes de un sistema de recirculación acuícola.*

<b>Tanques de cultivo</b>	El agua de entrada se distribuye verticalmente en la columna de agua a través de un tubo perforado y su exceso generalmente sale del tanque por un drenaje de superficie.
<b>Filtración mecánica</b>	Su función es la remoción de sólidos suspendidos producidos por las heces de los animales y el desecho del suministro alimenticio. Se pueden utilizar conos y decantadores, arenas, entre otros que permiten la separación según el tamaño de la partícula.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

(Continuación tabla 2)

<b>Filtración biológica</b>		Los filtros biológicos son fundamentales para mantener la salud del sistema, transformando los residuos de nitritos y amonio en nitratos de menor peligrosidad. Para esto se utilizan ciertos sustratos que permitan el desarrollo de nitrobacterias y nitrosomas que actúan como biofiltros
<b>Fuente de aireación y oxigenación</b>		Inyección directa de oxígeno y así mismo una combinación entre dos o más tipos de aireación y oxigenación. Si son inadecuadamente dimensionados o posicionados, pueden provocar excesiva agitación dentro de los tanques de cultivo, resuspendiendo y fraccionando los residuos sólidos. En el fraccionador de espuma y el propio biofiltros son puntos donde la aireación comienza a ser aplicada.
<b>Bombeo y tabulaciones de drenaje y retorno</b>		En algún punto del sistema es necesario instalar bombas de agua para retornar el agua tratada y re oxigenada hacia los tanques de cultivo. Las dimensiones de las bombas y las tabulaciones deberán efectuarse para evitar sub o súper dimensionar el sistema hidráulico del sistema.
<b>Unidad de cuarentena:</b>		Esta unidad debe ser físicamente separada de la unidad de producción y contar con sus propios tanques, filtros, biofiltros, sistema hidráulico y equipos de aireación. Los peces que llegan por primera vez al emprendimiento deberán permanecer en observación en esta unidad durante algunas semanas para certificar que están libres de organismos patógenos. Durante su cuarentena, los peces generalmente recibirán un tratamiento profiláctico y terapéutico que elimine a los potenciales parásitos o enfermedades

*Nota:* Modificado de: [http://www.minagri.gob.ar/site/pesca/acuicultura/01=cultivos/03-tros\\_sistemas/\\_archivos/000004\\_Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20cerrada.pdf?PHPSESSID=53780e686fdd2fd28d7d0f611a595fc5](http://www.minagri.gob.ar/site/pesca/acuicultura/01=cultivos/03-tros_sistemas/_archivos/000004_Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20cerrada.pdf?PHPSESSID=53780e686fdd2fd28d7d0f611a595fc5)

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

Así mismo, el mismo autor destaca que los escalares no presentan un dimorfismo sexual marcado, sin embargo, la hembra tiene la cabeza ligeramente más cóncava, mientras el macho presenta cabeza convexa con frente protuberante. Adicionalmente el macho posee una mandíbula inferior prominente y las primeras espinas de la aleta dorsal tienen mayor fortaleza, son irregulares y dentadas.

Se pueden encontrar en el mercado variedad de colores, obtenidos en especímenes mejorados por selección del escalar común. Poseen colores como el plateado uniforme, blanco y amarillo con destellos plateados o dorados, existen aquellos con manchas sin uniformidad de color negro en un fondo claro o de forma contraria y los que tienen franjas negras en un fondo claro (Cerna, 2014).

El hábitat natural de los escalares está constituido por afluentes medianos y profundos, desembocadura de los afluentes menores en ríos de mayor tamaño, pero prefiere caños y chucuas donde exista buena cantidad de vegetación. Se adaptan muy bien al cautiverio siempre que existan lugares tranquilos y se mantengan temperaturas desde 26 a 28 °C (Agudelo, 2006).

Es una especie omnívora y muy voraz, haciendo que el consumo de alimento artificial sea el adecuado para mantenimiento en cautiverio. Sin embargo, necesita alimento vivo para lograr un desarrollo adecuado y su preferencia por este. Para reproductores debe ofrecerse al menos una vez por semana y un alimento artificial que supla las necesidades proteicas como principal nutrimento de la dieta para mantenimiento, crecimiento y reproducción en peces (Landines et al, 2007).

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

Así mismo el autor menciona el hecho de que si el levante de larvas se realiza fuera del lugar de los reproductores, se debe suministrar nauplios de artemia salina y posteriormente realizar un acostumbramiento al consumo de concentrados.

Los juveniles pueden recibir 4 o más raciones diarias de alimento artificial con un mínimo de 38 % de proteína. Existen dominancias en el consumo y espacios.

### **4.5 Pez cebra, *Danio rerio***

Es un ciprinido del género *Brachydanio* que se encuentra en agua dulce tropical, nativo del sur de Asia. Habita en lagos, charcas y lagunas que poseen gran cantidad de plantas acuáticas.

Prefiere sitios con baja corriente, se adapta a diferentes calidades de agua sobreviviendo a diversidad de ambientes acuáticos facilitando su manejo en cautiverio (Moreno, 2013).

Roeselers et al. 2011, menciona una longitud entre 4-6cm y 2-3 gramos de peso y la existencia de variedades con diversidad de colores, siendo sus colores característicos fondos plateados o dorados con cinco bandas longitudinales cuya iniciación es detrás el opérculo y terminan en el extremo de la aleta caudal. Pueden vivir de 2 a 3 años.

Presentan un dimorfismo sexual marcado siendo las hembras más robustas que el macho y de mayor tamaño. Su vientre toma forma cilíndrica mientras el macho es plano, la hembra a su vez carece de tonalidades rojizas en las franjas longitudinales muy notorias en el macho. Este último posee una longitud furcal mayor a la de la hembra haciendo que sea más prominente.

### **4.6 Alimento vivo para peces ornamentales**

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

Según Castro et al (2003), al existir deficiencias en las propiedades físicas como flotabilidad, estabilidad en el agua y el sabor de los alimentos balanceados suministrados a los peces de ornamento, se utiliza el alimento vivo como una alternativa que proporciona movimiento estimulando la depredación, el color como atractivo para su captura, el contenido nutricional, buena flotabilidad y además si es utilizado de manera adecuada no cambia la calidad de agua.

### **4.6.1. Microgusano de la avena.**

El *Panagrellus redivivus* es un nematodo de vida libre no segmentado de color blanco o transparente, de tamaño aproximado de 1.5 mm de longitud con diámetro de 50 µm. Son ovovivíparos, liberan 10-40 crías en un periodo 24 a 36 horas durante su ciclo de 20 a 24 días.

Su valor nutricional varía según el medio de cultivo utilizado conociéndose su composición general de 76% agua, 24% de materia seca constituida de 40% de proteína, 20% grasa y 40% entre ELN y otros nutrientes.

Es recomendado su uso para peces en estadios iniciales por la cantidad a suministrar y el tamaño de la boca (Luna,2009).

### **4.6.2 Artemia salina.**

Es un crustáceo de la familia Artemididae procedente del llamado mar mediterráneo, con alta diseminación en todos los continentes.

Habita comúnmente lagos y unos estanques de alta salinidad soportando gran variedad en este parámetro (60-300) ppm.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

Presenta en su cuerpo tiene tres segmentos: cabeza, tórax y abdomen. Tiene dimorfismo sexual resaltando el tamaño mayor en las hembras, la distancia entre los ojos compuestos que posee la hembra es mayor que a del macho, el largo de las primeras antenas es mayor en el macho, los segmentos del área abdominal aumentan en la hembra y la posición de los huevos al finalizar los segmentos.

Son ovovivíparos y ovíparos utilizando el tipo de reproducción más apto para las condiciones del medio, soltando los llamados quistes de artemia para su póstuma eclosión. Son utilizadas para alimento de peces en principalmente como nauplios (Dumitrasco, 2011).

Su valor nutritivo es muy importante especialmente para peces en estado larvario, ya que constituyen una excelente fuente de energía proporcionando ácidos grasos polinsaturados y su composición varía según el alimento proporcionado, teniendo datos generales como los estipulados en la tabla 3 según el mismo autor.

Tabla 3.

### *Composición nutricional de la Artemia salina*

<b>Componente</b>	<b>Cantidad (%)</b>
Humedad	85-90
Cenizas	9-20
Proteínas	52-74
Carbohidratos	7-17
Glucógenos	2-9
Lípidos	8-16
Fosfolípidos	4-6
Colesterol	0.5-0.9
Azucres	3-4

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

**4.6.3 Pulga de agua.** Pertenecen a los llamados cladóceros los cuales son microcrustáceos zoo planctónicos de agua dulce. Su tamaño se encuentra entre 0.5 y 5 mm, tienen un ciclo de vida con duración de 2 a 4 meses. Poseen un caparazón, con cabeza bien diferenciada en la que se encuentran ojos, antenas, mandíbula, apéndices y órganos sensitivos. Existen variedades entre las que se encuentra la *Daphnia magna* y *D. pulex*. Se reproducen sexual y asexualmente especialmente por partenogénesis. Se alimentan de pequeñas algas y sustratos orgánicos (Garces,2013).

Existen reportes de que las pulgas de agua son una fuente excelente de alimento para peces tropicales, pero su mayor limitante se encuentra en la disponibilidad suficiente de individuos para suministrar en un tiempo determinado.

Según Ocampos, Botero y Restrepo (2010), los aminoácidos reportados para *Daphnia sp* se encuentran así: tirosina (4.27%), triptófano (3.62%), arginina (10.92%), histidina (2.69%), cistina (1.17%), metionina (3.45%).

En composición de otros nutrientes se conoce el % de proteína (40-50%) y ácidos grasos (20-27%).

### **4.6.4 Escarabajo de la harina, *Tenebrio molitor*.**

Es un coleóptero ubicado en la familia tenebrionidae, habita harinas y subproductos de granos utilizado para alimento de especies silvestres, peces tropicales y en ciertos alimentos de consumo humano. Consume harinas, carne seca y cueros. Según su estado fisiológico es rico en

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

ciertos nutrientes y puede convertirse en una materia prima para concentrados (Cerón et al. 2010).

En la figura 3 se observan los estadios del tenebrio. Suelen tener un ciclo de 3 meses aproximados que varían según el cultivo y el ambiente donde se realice (García et al. 2011).



Figura 3. Estadios de *Tenebrio molitor*. Adaptado de: Análisis de hidrolasas de *Metarhizium anisopliae* en cultivo solido sobre espuma de poliuretano como soporte. García et al. 2011.

La tabla 4 muestra la composición nutricional del tenebrio y su variación en los estadios fisiológicos del mismo según varios autores teniendo en cuenta el porcentaje de cada componente en materia seca.

Tabla 4.

*Variación en la composición nutricional de T. molitor en algunos estadios fisiológicos*

Componente	Larvas	Pupas
Proteína	20.23	53.96

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

(Continuación tabla 4)

<b>Grasa</b>	16	25.65	4.6
<b>Calcio</b>	57.37 ppm	0.03%	8.9%
<b>Fósforo</b>	0.27	0.98	
<b>Fibra cruda</b>	4.28		
<b>Humedad</b>	58.02		50.5
<b>Cenizas</b>	1		1.3

---

<b>Fuente</b>	Soto, 2003	Argueta y Ramos, 2013	Intriago y Valencia,2014
---------------	---------------	--------------------------	-----------------------------

*Nota:* Esta tabla fue modificada según datos obtenidos de los diferentes autores mencionados y sus trabajos realizados mostrando en porcentaje de los componentes nutricionales

### 4.7 Marco legal

**4.7.1 Decreto número 1780 de 2015.** Decreto Reglamentario del Sector Administrativo del Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural, en lo relacionado con la adopción de medidas para administrar, fomentar y controlar la actividad de la acuicultura. El cual decreta:

Artículo 13 estipula que el INPA, hoy AUNAP, cumplirá la siguiente función: Administrar, fomentar y controlar la actividad pesquera y acuícola, expedir las normas para su ejercicio y establecer los trámites y requisitos para el otorgamiento de autorizaciones, permisos, patentes, concesiones y salvoconductos.

Artículo 2.16.4.1.3. Cultivo de especies nativas y foráneas. Se podrán cultivar todas las especies nativas y las foráneas introducidas o aquellas cuya introducción acuerden conjuntamente Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la AUNAP.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

Artículo 2.16.4.1.4. Recolección de semillas y extracción de reproductores del medio natural: estas acciones serán autorizadas por la AUNAP, la cual establecerá el estadio de desarrollo, cantidad, modalidad y períodos de recolección.

Teniendo en cuenta siempre base en las evidencias científicas disponibles, en la necesidad de conservación del recurso y en los requerimientos de la actividad acuícola.

Artículo 2.16.4.1.6. Repoblamiento:

La AUNAP realizara y promoverá acciones de repoblamiento en aquellas áreas naturales que lo requieran, utilizando principalmente las especies nativas de cada región.

La AUNAP podrá establecer el permiso de acuicultura que utiliza semilla del medio natural, con obligación de destinar un porcentaje de sus cosechas para acciones de repoblamiento.

**4.7.2 Proyecto de Ley 025 de 2014.** Promueve y regula el aprovechamiento integral y sostenible de la pesca y la acuicultura en los cuerpos de agua del país, el cual decreta:

ARTÍCULO 6: Corresponde a la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP) adelantar los estudios técnicos y administrativos de línea base para la caracterización de la pesca artesanal, deportiva y de investigación.

Así mismo decreta los estudios de caracterización de la acuicultura que se desarrolla o se pueda desarrollar en esos cuerpos de agua.

**4.7.3 Decreto número 4181 de 2011.** Se da la creación de la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca AUNAP, y en su artículo No 5 se establecen sus funciones generales.

**4.7.4 Ley 13 de 1990, por el cual se dicta el estatuto general de pesca. Decreta:**

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

Artículo 1. Objetivo: regular el manejo integral y la explotación racional de los recursos pesqueros con el fin de asegurar su aprovechamiento sostenido.

Artículo 3. La actividad pesquera se declara de utilidad pública e interés social.

Capítulo 2, artículo 54. Prohibiciones de pesca

### **4.7.5 Decreto 2256 de 1991: por el cual se reglamenta la ley 13 de 1990. Decreta:**

Artículo 46 Se podrán cultivar todas las especies nativas y las introducidas o aquellas cuya introducción acuerden juntamente con la autoridad acuícola.

Artículo 51. La entidad acuícola promoverá la instalación y funcionamiento de estaciones o centros de producción para la investigación o fomento de la acuicultura.

Artículo 61: permisos para los diferentes tipos de pesca.

Artículo 74: permiso para pesca ornamental y definición de la misma.

Artículo 75: requisitos para la extracción de especies ornamentales

Artículo 76: permisos y deberes para la autorizar la comercialización de especies acuáticas ornamentales.

Artículo 92 permisos para cultivo de la especie.

## **5 Diseño metodológico**

### **5.1 Tipo de estudio**

El trabajo realizado es una investigación de tipo experimental y exploratoria, cuyo propósito fue evaluar y analizar el comportamiento de dos especies de peces ornamentales en un sistema de recirculación acuícola (SRA), con el fin de implementar un modelo de investigación y de producción bajo condiciones controladas en la zona de influencia.

### **5.2 Localización**

El proyecto se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Industrial de Santander sede Málaga, ubicada en el barrio Limonar, específicamente en el espacio dispuesto para el laboratorio de acuicultura entre las coordenadas, 6°42' 23.09" latitud norte 72°43' 41.82" longitud éste, altitud de 2210 msnm, con temperatura promedio de 18°C y pluviosidad de 1400 mm durante los últimos 20 años (IGAC, 1996).

### **5.3 Metodología**

**5.3.1 Diseño y adecuación del sistema de recirculación acuícola (SRA).** Con base al espacio disponible (figura 4) se diseñó un SRA que albergó 323 litros de agua, constituido por

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

nueve acuarios o unidades experimentales (32 litros c/u), (figura 5) y un filtro con 35 litro de agua.

Todos los acuarios estaban equipados con una entrada de agua constituida por un codo y un tubo de PVC de 7 cm regulada por un registro (de media pulgada cada uno) y una salida de agua independiente (orificio de media pulgada en la parte inferior de la cara frontal del acuario) compuesta por una unión hembra y macho, codo y 15 cm de tubo, todos de media pulgada en cuyos extremos se utilizó cedazo para evitar la succión de los peces.

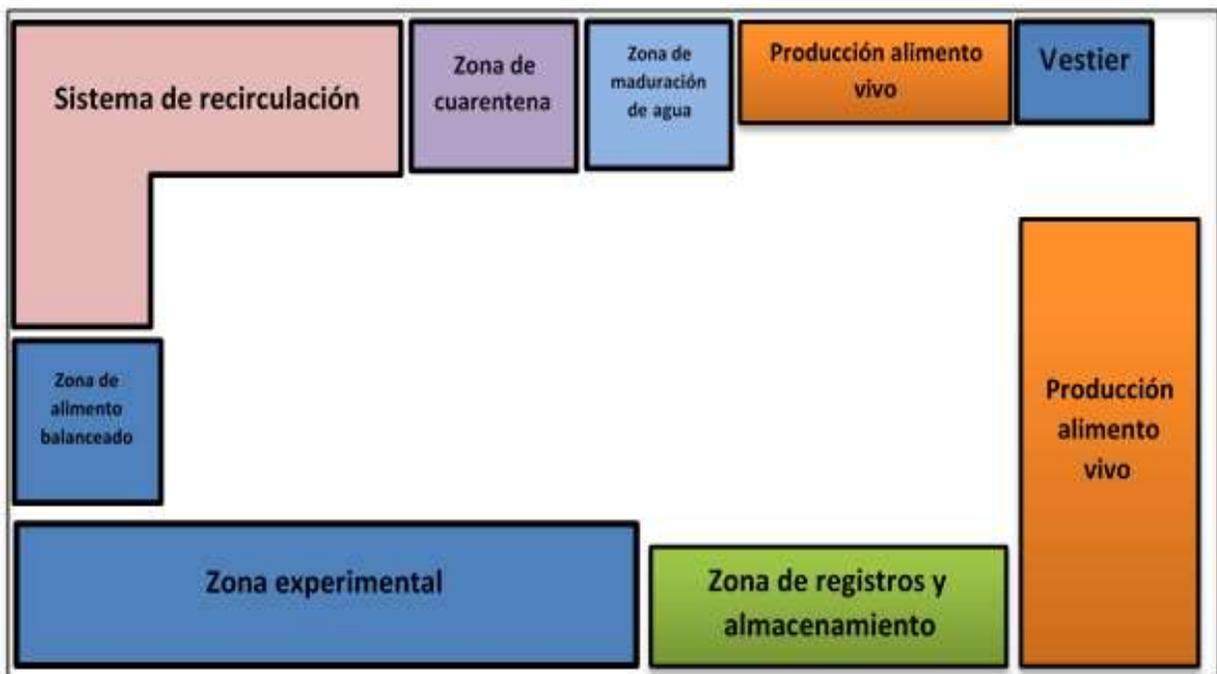
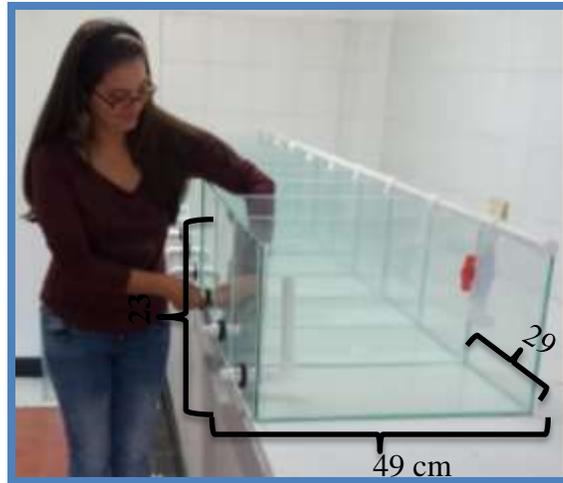


Figura 4. Ubicación del SRA dentro del laboratorio de acuicultura.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

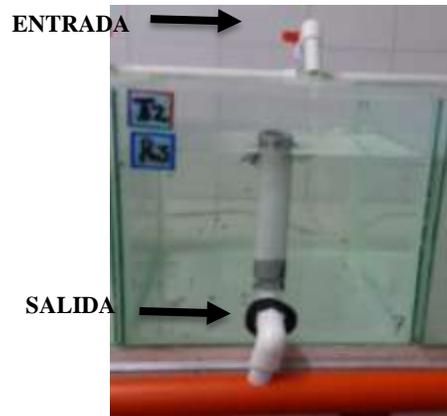


*Figura 5.* Montaje y medidas de los acuarios del sistema de recirculación

Se utilizaron tubos como camisas, de  $\frac{3}{4}$  de pulgada. En la interconexión entre dichos componentes con el filtro se utilizó un tubo de media pulgada para la entrada y uno de 3 pulgadas para la salida del agua (figura 6).

El filtro, con una capacidad de 35.9 litros y medidas de 28 cm de largo, 16 cm de ancho y 27 cm alto, se construyó con dos divisiones escalonadas verticalmente para permitir el paso del agua entre los diferentes compartimentos, dentro de cada compartimento se colocaron diferentes materiales como guata, tapas plásticas, piedras de diversos tamaños, los cuales permitían realizar filtración mecánica (retención de limos y arcillas) y la filtración biológica de nitritos y nitratos (Figura 7).

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES



*Figura 6.* Conexiones del acuario

De esta manera se pretendía mantener en óptimas condiciones la calidad de agua y evitar acumulación de residuos en las unidades experimentales. En la última sección se incorporó una bomba sumergible de agua con capacidad de 2500 f/P



*Figura 7.* Filtro del sistema de recirculación

Se diseñaron cubiertas en icopor para disminuir las pérdidas de agua por evaporación, evitar la fuga de peces y favorecer una temperatura estable. Además, en el mismo material se realizaron bases para cada acuario evitando el contacto directo con la superficie, funcionando como aislante

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

y facilitando el movimiento. Con el fin de garantizar un secado adecuado de la silicona se permitió un periodo de reposo de 3 días para todos los acuarios, transcurrido dicho tiempo se llenaron con 32 litros de agua (74.4%).

Para colocar en funcionamiento por primera vez el sistema, se llenó el filtro con 35 litros de agua cantidad máxima que evitaría derrames en caso de ausencia de luz y se prendió la motobomba, posteriormente y de manera continua se revisó cada uno de los componentes con el propósito de detectar fugas y anomalías.

La figura 8 muestra el sistema de recirculación en funcionamiento con todas las unidades de entrada y salida de agua correspondientes.



*Figura 8.* Sistema de recirculación

**5.3.2 Periodo experimental para el establecimiento del sistema.** Posterior a la construcción y adecuación del SRA, se evaluó a diario (tres veces al día en un periodo de medio mes) la

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

temperatura y la pérdida del agua, lográndose una temperatura constante de 27°C después de haber detectado variaciones entre 3 y 4°C; la pérdida de agua se disminuyó entre 1 y 1.2 litros por día y un color transparente.

Durante este periodo también se estandarizó el flujo del agua, logrando una entrada de 0,7 litros por minuto y una salida hacia el filtro de 5,88 l /min; en este punto el volumen total del agua se demoraba 54.93 minutos en circular.

Después de este periodo se incorporaron al sistema algunos peces *Poecilia reticulata* (guppys) por 8 días, con el fin de ayudar en la maduración del agua circulante y el fortalecimiento del filtro.

**5.3.3 Individuos experimentales.** Se recibieron en cuarentena 60 individuos de la especie *Pterophyllum scalare* (escalar) con edades de 30 a 60 días y 60 individuos de la especie *Danio rerio* (cebra) con  $18 \pm 2$  días de edad, este periodo tuvo una duración de 7 y 6 días respectivamente.

Los animales fueron adquiridos en Cundinamarca (Universidad Nacional de Colombia) y Boyacá (Sogamoso). Los peces fueron monitorizados y adaptados al alimento balanceado disponible en horarios específicos. A causa del estrés por el transporte fue necesario retirar algunos peces decaídos y someterlos a un tratamiento con sal marina con el propósito de fortalecer su sistema inmune. Transcurrida la primera semana se evaluó el comportamiento y el aspecto de los individuos, encontrándose animales en buenas condiciones para el inicio del periodo experimental. Se manejó una densidad de siembra de 2.13 litros de agua por individuo.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

**5.3.4 Diseño y manejo experimental.** De acuerdo a la talla y de forma aleatoria los peces fueron distribuidos en las unidades experimentales, 4 acuarios por especie; la longitud estándar promedio inicial de los *P. scalare* fue de  $1.06 \pm 0.20$  cm y su peso promedio de  $0.12 \pm 0.04$  g, debido a la heterogeneidad de la población fue necesario seleccionarlos por tamaño (grandes, medianos y pequeños) y de esta manera homogenizar las unidades experimentales.

Por este motivo se crearon grupos distribuidos al azar, identificados como *G1*, *G2*, *G3* y *G4*, donde *G2* y *G4* albergaron los individuos de menor y mayor tamaño respectivamente.

En la especie *D. rerio* la población se encontró más homogénea con  $0,62 \pm 0,02$  cm de longitud estándar promedio inicial y  $0.02 \pm 0.01$  g de peso promedio, por lo cual solo se descartaron los individuos de tamaño extremo. Una vez distribuidos los peces se dio inicio a la fase experimental, tiempo en el cual se evaluó la eficiencia productiva tanto de los peces como del SRA. Las variables biométricas y de calidad de agua se evaluaron en periodos de 10 días, momento en el cual se realizó limpieza del sistema. La pérdida de agua se monitoreo a diario.

**5.3.5 Alimentación.** Se ofreció alimento balanceado dos veces al día, entre las 7:45 y 8:15 am y entre las 4:00 - 4:35 pm, más alimento vivo al mediodía.

Según los requerimientos de cada especie y de acuerdo al tamaño de los individuos, el programa de alimentación se dividió en dos etapas.

En la primera etapa se proporcionó alimento balanceado con tamaño de  $420\mu$  al 5% de la biomasa aproximadamente, como alimento vivo se usó microgusano y artemia salina, alternados diariamente en una cantidad de 5% para el total de la biomasa del sistema de recirculación. En la segunda etapa se ofreció alimento balanceado de mayor tamaño ( $600 \mu$ ) *ad libitum* más 0.4 g de alimento vivo constituido por pulga de agua y larva de *tenebrio molitor*.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

**5.3.5.1 *Microgusano de la avena, Panagrellus redivivus.*** El primer cultivo de *Panagrellus redivivus*, se inició utilizando 100 g de avena en hojuelas, 100 g de avena molida, 2 g polen y 1 g de levadura, los anteriores ingredientes se mezclaron con agua hasta lograr la consistencia pastosa y se adiciono la cepa de microgusano (40 g en promedio). Para aumentar la superficie de colonización se introdujeron láminas y laminillas (porta y cubre objetos).

Se agregó diariamente una cantidad de agua necesaria para mantener el sustrato húmedo, al mismo tiempo se humedecieron las paredes del recipiente, las láminas y laminillas. Con base en este cultivo, semanalmente se inoculo un nuevo cultivo La cosecha se efectuaba con un pincel de cerdas suaves. Se tomaban 0.4 g de microgusano diluido en 10 ml de agua, lo cual fue distribuido en un 60% para los escalares y 40% para los peces cebra según la biomasa existente de cada especie.

**5.3.5.2 *Artemia, Artemia salina.*** Para la utilización de la artemia fue necesario evaluar un periodo de tiempo desde la incubación de los quistes hasta su eclosión la cual tuvo una duración de 18-20 horas. Para ello se adicionaron 0.5 g de quistes en un recipiente con agua al 3,6% de salinidad, aireación constante y temperatura promedio de 26°C.

Inmediatamente eclosionaban los nauplios, por decantación se separaban los residuos y posteriormente se retiraban por succión con y se filtraban en un tamiz fino; posteriormente se tomaban 0.4 g de nauplios diluidos en agua, y se suministraban a los peces.

**5.3.5.3 *Pulga de agua, Daphnia magna.*** Para el cultivo de la pulga de agua se prepararon 5 acuarios con agua madurada, simultáneamente se elaboraron infusorios de espirulina y zumo de

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

espinaca los cuales constituyeron la principal fuente de alimento a ración de 0.5 ml por litro de agua para cada cultivo.

Los acuarios estaban equipados con una resistencia para mantener una temperatura promedio de 22°C y una piedra difusora. Semanalmente se realizó sifoneo de los acuarios para eliminar el exceso de residuos orgánicos con reposición de un 10% por pérdida por evaporación. Se observaron diariamente color, temperatura y crecimiento poblacional. Como fuente adicional de alimento se adiciono una solución de levadura (0.5 g) en 3 ml de agua cada día de por medio. Las cepas eran originarias del laboratorio de ictiología de la universidad Nacional.

**5.3.5.4 Escarabajo de la harina, *Tenebrio molitor*.** Utilizando salvado de trigo y harina se elaboró el sustrato para el cultivo del *Tenebrio molitor* cultivado en el laboratorio de acuicultura de la UIS Málaga. Se alimentaron diariamente con residuos orgánicos como envoltura de frutas y peces ornamentales fallecidos, adicionalmente se agregó maní forrajero. Se recolecto una porción de la población en estado larval con una medida aproximada de 2.5 cm, la cual fue secada al horno a una temperatura de 45° C por 68 horas. Después de las primeras 24 horas de secado se monitorizo el peso cada 8 horas, hasta notar que la muestra dejo de perder peso. Posterior al secado se realizó un macerado hasta convertir la muestra en harina y se tamizo, finalmente se mezcló con alimento balanceado para mejorar la palatabilidad.

### **5.4 Parámetros evaluados**

Cada una de estas variables permitió identificar y evaluar las características propias de los individuos experimentales y el medio en donde se desarrollaron.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

**5.4.1 Parámetros de calidad de agua.** La temperatura, utilizando termómetros de mercurio a diario se monitoreo la temperatura ambiental y la del SRA en diferentes puntos: compartimento de entrada del agua en el filtro, primer y último acuario. El Color medición que realizó por observación, teniendo en cuenta cambios en las tonalidades del agua

Se tomaron muestras de agua cada 10 días buscando evitar el estrés en días diferentes al manejo para la toma de parámetros productivos, antes de realizar los procesos de limpieza correspondientes al sistema, se refrigeraron y al finalizar el ensayo en la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA, sede Bogotá se analizaron los siguientes parámetros. El Oxígeno y pH se evaluaron a través de una sonda multiparametrica YSI *Professional Plus*®. Para el análisis de Nitritos, amonio, alcalinidad y dureza, se utilizó un kit de Hach FF-1A®.

**5.4.2 Parámetros productivos y biométricos.** La sobrevivencia (%) teniendo en cuenta el porcentaje de individuos que llegaron a buen término.

El Peso promedio W (g) en un recipiente con agua utilizando la balanza analítica *Ohaus* 0.001g se registró el peso de los peces en grupos de 5 individuos. Esta actividad se realizó cada 10 días. La Longitud estándar LE (cm) utilizando un papel milimetrado plastificado para registrar la longitud estándar de cada uno de los peces. Esta labor se llevó acabo cada 10 días durante todo el experimento.

Ganancia en longitud GL (cm): longitud final – longitud inicial

Ganancia de peso promedio GW (g): peso final – peso inicial

Ganancia diaria en longitud GDL (cm/d):  $\frac{\text{longitud final} - \text{longitud inicial}}{\text{días}}$

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

Ganancia diaria de peso GDW (g/d):  $\frac{\text{peso final} - \text{peso inicial}}{\text{días}}$

**5.4.3 Parámetros de crecimiento.** Con el propósito de describir el crecimiento, se utilizó un modelo de predicción que permite observar el comportamiento de la especie en el tiempo teniendo en cuenta la edad y el peso del individuo.

A través del peso y con la función de Gompertz se estimaron los parámetros de crecimiento en el programa *CurveExpert Rrofessional 2.2.0®*.

Tasa específica de crecimiento TCE (%):  $\frac{\ln \text{peso final} - \ln \text{peso inicial}}{\text{días}} \times 100$

$\frac{\ln \text{longitud final} - \ln \text{longitud inicial}}{\text{días}} \times 100$

Factor de condición corporal K:  $100 \frac{\text{peso individual}}{\text{longitud}^3}$

**5.4.4 Parámetros de consumo.** El Consumo estimado determinado con base en el alimento suministrado.

Para el alimento balanceado el cual se estimó a través de la cantidad de alimento calculado para suplir la demanda de 10 días menos el residuo o sobrante al finalizar cada periodo de 10 días. De alimento vivo que se estimó a través de la cantidad de alimento pesado y suministrado a diario. El Consumo de alimento individual teniendo en cuenta el alimento suministrado y consumido sobre número de animales alimentados.

**5.4.5 Parámetros de eficiencia del SAR.** Se calculó la cantidad de agua eliminada por efectos de limpieza del sistema, además se determinó la cantidad de energía necesaria para el

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

mantenimiento del SAR, estas dos variables se compararon frente a un sistema de acuarios tradicionales con el propósito de evaluar la eficiencia en el uso de estos dos recursos.

**5.4.6 Parámetros económicos.** Los costos identificados como aquellas inversiones realizadas para el montaje del sistema, mantenimiento del mismo y de los individuos experimentales. Se establecieron costos variables y costos fijos con el fin de conocer la rentabilidad del sistema.

Los ingresos proyectados se realizó una proyección de los ingresos hasta lograr el punto de equilibrio, con el fin de establecer que tan productivo es el sistema de recirculación.

Así mismo se realizó una comparación con los gastos incurridos en el sistema versus un sistema de acuario convencional con el fin de identificar el ahorro energético y el ahorro hídrico que se puede lograr utilizando estas herramientas.

### 5.5 Diseño estadístico

Para evaluar las variables productivas, de calidad de agua y variables económicas se utilizó estadística descriptiva teniendo como principales descriptores el promedio y la desviación estándar para realizar la discusión de resultados, calculados con ayuda del programa Microsoft Excel 2010®. Para modelar el crecimiento con la función de Gompertz se utilizó el programa Curve expert®.

## 6 Análisis y discusión de resultados

### 6.1 Parámetros de calidad del agua

**6.1.1 Temperatura.** Al realizar la instalación en el lugar del sistema de recirculación, la temperatura del agua fue de 17°C. Utilizando 2 termostatos de 250 litros en el filtro, graduados a 27 °C se obtuvo un aumento progresivo hasta 26°C.

Para buscar una temperatura ideal de 27°C fue necesario regular los termostatos hasta obtener este resultado ya que los acuarios siempre permanecieron 1°C por debajo de la temperatura registrada en el filtro. Sin embargo, fue necesaria la utilización de cubiertas de icopor que evitaron la pérdida de temperatura y agua por evaporación para mantener un ambiente constante.

Diariamente se realizaron 3 mediciones de temperatura: de 7-8 de la mañana, 12-1 del mediodía y de 4-5 de la tarde (igual a los horarios de alimentación), con promedios observados de  $26.85 \pm 0.43$ ,  $27.27 \pm 0.45$  y  $27.19^{\circ}\text{C} \pm 0.20$  respectivamente. La Figura 9 muestra el comportamiento de la temperatura en los acuarios del sistema de recirculación en el tiempo de adaptación de la investigación.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

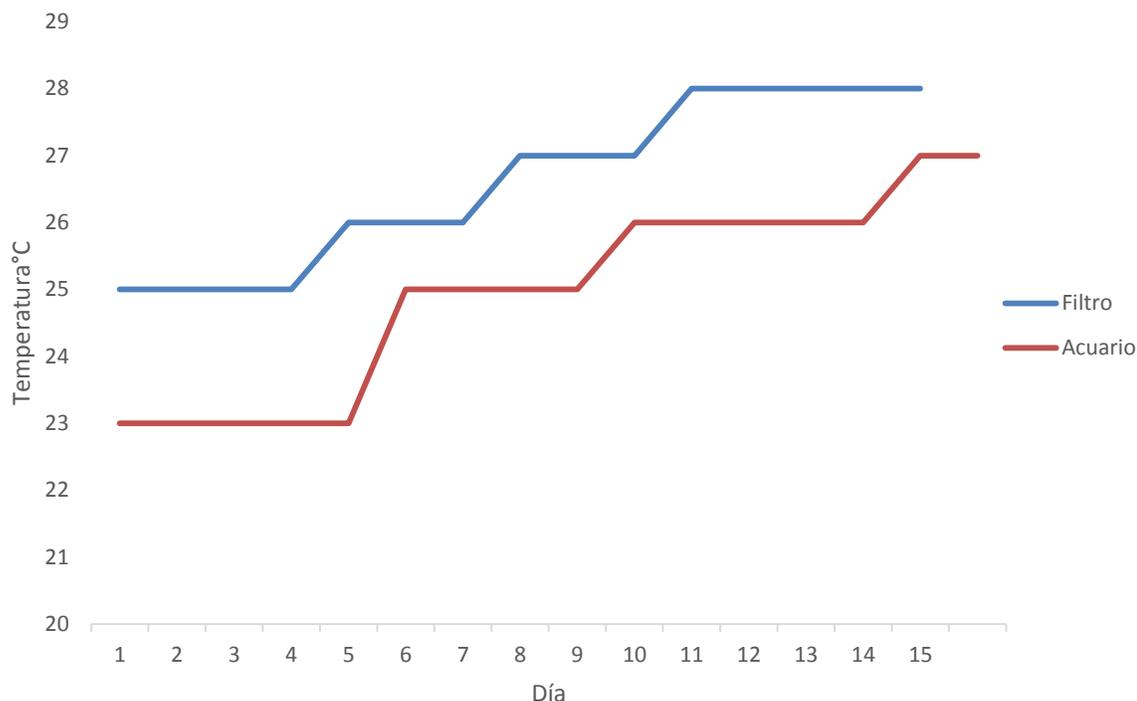


Figura 9. Variación en la temperatura durante el periodo de adaptación.

Autores como Pérez, Díaz y Espina (2003) resaltan una temperatura ideal para escalares en estado juvenil dentro de 26,7 a 29,2 °C, mientras destacan una temperatura para adultos en un rango de 28,4 a 31,2°C. Otros autores reportan temperaturas entre los 21 y 29°C, identificando un mayor uso de 28 °C para juveniles y 21 a 28 °C para alevines (Bahadir, Diler, Dulluc, Yigirt y Bayrak, 2009; Cerna, Chu, Alcantara y Mori, 2014; García y Gómez, 2005; Jiménez y Almeaga, 2012; Landines, 2007; Luna, Vargas y Figueroa, 2010; Parada et al. 2012; Rodríguez y Kocherborger, 2006; Sampaio et al. 2006; Sampaio et al. 2009; Trelles y Alva, 2015).

En alevines y juveniles del pez cebra se identificó una temperatura ideal de 28,5 °C, es de resaltar que siendo animales euritermos pueden llegar a resistir temperaturas desde los 6,7 a 41,7 °C (Hawyard Saele, Nordgreen, Landgdon y Hamre, 2011; Lawrence, Best, James y Maloney, 2012; Luna, 2007; Moreno, 2013; Pereira, Carvalho, Cruz y Saraiva, 2017; Ramsay et al. 2006).

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

Los valores mencionados por los autores, comparados con la temperatura promedio utilizada en la investigación, muestran un valor aceptable para las dos especies logrando mantenerse dentro de los parámetros ideales.

**6.1.2 Color.** En el transcurso del experimento se evidenció una mínima variación en el color, el cual se mantuvo translucido en la mayoría de la fase experimental.

Existió un cambio en el periodo abarcado entre los días 40 y 50, presentándose un color ocre claro debido a la acumulación excesiva de limos en el filtro lo que ocasionó una mala filtración. Para evitar este suceso fue necesario aumentar la cantidad de guata en el filtro, la cual se restableció a su color habitual al día siguiente.

De acuerdo con el lugar de origen de estas especies, particularmente el escalare es normal su desarrollo en ambientes ricos en algas lo cual se traduce en aguas de color verde claro (Parada et al. 2012), de igual manera, en sistema de recirculación se reportan aguas transparentes por la mínima proliferación de residuos orgánicos en los tanques de almacenamiento (Moreno, 2013).

**6.1.3 Otros parámetros de calidad de agua.** La tabla 5 muestra los resultados obtenidos para los parámetros de calidad de agua antes, durante y después del experimento ubicando así mismo los periodos de adaptación del sistema y el periodo experimental en el cual los peces se encontraban dentro del sistema.

Para el mantenimiento de peces escalares se reportan valores de nitritos de 0,3 mg/l y en cebras se destaca su tolerancia hasta 2 mg/l del mismo parámetro. Según Ramsay et al. (2006) en las condiciones manejadas en su estudio con un equipo de recirculación, no hubo presencia de nitritos. Lawrence (2007), reporta en su revisión del pez cebra, niveles tóxicos de nitrito

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

superiores a 1 ppm, sin embargo, aclara la no existencia de rangos necesarios y adecuados definidos para estos individuos en cautiverio

Tabla 5.

*Parámetros de calidad de agua obtenidos durante el experimento*

<b>Día</b>	<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	<b>O</b>	<b>Alc.</b>	<b>Dureza</b>	<b>pH</b>
<b>-22</b>	0,1	0,006	1,7	27,36	153,9	7,26
<b>0</b>	1,32	0,011	2,3	27,36	171	7,46
<b>11</b>	1,49	0,009	1,4	34,2	171	7,45
<b>21</b>	0,03	0,017	5,8	34,2	145,4	7,63
<b>30</b>	0,03	0,014	4,5	27,36	153,9	7,55
<b>60</b>	0,1	0,005	5,9	34,2	188,1	7,46
<b>70</b>	1,65	0,005	5,1	34,2	188,1	7,27

*Nota:* Parámetros de nitritos y nitratos, amonio, oxígeno disuelto, alcalinidad, dureza y pH en el agua del sistema.

Puede evidenciarse una variación en la presencia de nitritos durante el periodo experimental, resultados que pueden variar según el alimento suministrado y el desperdicio de alimento en el sistema.

Se encontraron datos desde 0 mg/l a 0,5 mg/l para amonio en las dos especies estudiadas, resaltando el grado de toxicidad para animales acuáticos con valores superiores a 0,02 mg/l (Jiménez y Almeaga, 2012; Lawrence, 2007; Luna, 2007; Luna et al. 2010; Moreno, 2013; Pereira et al. 2017; Ramsay et al. 2006). Los datos obtenidos muestran parámetros de amonio aceptables para los individuos experimentales.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

Autores como Cerna et al (2014), Jiménez y Almeaga (2012), Luna et al. (2010), Rodríguez y Kochenborger (2006), Soriano y Hernández (2002), presentan resultados para oxígeno disuelto en estudios con escalares en estado juvenil, dentro del rango (5,4-7) y para alevines de 5 a 5,4. Los datos obtenidos en el actual estudio muestran resultados aceptables desde el día 21. Se evidencia una variación en los resultados que puede verse influenciada por la toma de muestra, el tiempo de espera para realizar los parámetros de calidad de agua y los cambios de temperatura.

La dureza del agua puede influenciar la presencia de ciertas enfermedades en animales acuáticos, además de variar según los iones presentes en el agua, no presenta valores constantes en sistemas de recirculación y se identifican valores de mantenimiento para animales acuáticos de 75-200 mg/l CaCO<sub>3</sub> (Lawrence, 2007). Para escalares se reportan datos en dureza de 43,25 y 65 mg/l CaCO<sub>3</sub> (Jiménez y Almeaga, 2012; Soriano y Hernández, 2002) y para cebras se identificaron datos de 82,44 y 85,7 mg/l CaCO<sub>3</sub>, donde se destaca su clasificación como un pez de agua dura por soportar un grado alto de dureza (Lawrence, 2007; Luna, 2007). Evaluando los datos de dureza obtenidos en la investigación, se evidencia que este parámetro se encuentra en los rangos establecidos por los autores mencionados.

Existen reportes para el pH del agua utilizando individuos de la especie *P. scalare* en alevinaje de 7,1 a 7, mientras para escalares juveniles se reporta desde 6,14 a 7,57 (Cerna et al. 2014; Jiménez y Almeaga, 2012; Luna et al. 2010; Parada et al. 2012; Rodríguez y Kochenborger, 2006; Soriano y Hernández, 2002; Trelles y Alva, 2015). En el sistema de recirculación utilizado, el pH presento muy baja variación y se encuentra en los rangos reportados por los autores mencionados. En peces cebras se identificaron datos de pH entre 7 y 8,1, en estudios realizados utilizando juveniles y alevines (Lawrence, 2007; Luna, 2007; Moreno, 2013; Pereira

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

et al. 2017, Ramsay et al, 2006), datos que, comparados con los obtenidos en la investigación, reflejan un pH favorable para la especie en mención.

### 6.2 Parámetros productivos y biométricos

**6.2.1 Supervivencia.** Los individuos utilizados pertenecientes a la especie *Danio rerio* presentaron un 100% de supervivencia en el sistema de recirculación, en comparación con la especie *Pterophyllum scalare*, que tuvo una supervivencia del 90%. Este parámetro fue evaluado acumulando el número de individuos vivos en el transcurso del tiempo llevando a evaluar la supervivencia total anteriormente mencionada. La mortalidad presente en los escalares fue causada posiblemente por la fragilidad en las primeras etapas de vida de estos individuos y su propensión al estrés. La Figura 10 muestra el cambio en la supervivencia poblacional de las dos especies utilizadas en el sistema de recirculación en intervalos de 10 días.



Figura 10. Supervivencia acumulada de las especies *D. rerio* y *P. scalare* durante el periodo experimental.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

Es importante destacar que posterior a la actividad de registro de talla y peso (cada 10 días), los peces tendieron a expresar un comportamiento diferente, el cual se asoció al estrés causado por la manipulación, ya que los individuos se agrupaban en la parte inferior de la columna del agua, en el área distal del acuario, con poco movimiento y bajo interés por el consumo de alimento, especialmente los individuos de la especie *Pterophyllum scalare*, en quienes durante mayor tiempo se observó esta forma de actuar. Con el fin de disminuir esta conducta, se suministró alimento vivo después del manejo ya mencionado, logrando una respuesta satisfactoria. Después del quinto periodo no hubo mortalidad, hecho asociado al manejo realizado y una mayor edad de los peces que reflejaban gran resistencia a la manipulación.

Para las primeras etapas de vida de los escalares se reporta una sobrevivencia en rangos muy amplios entre el 54 y 93%, debido a la fragilidad que presentan los individuos (García y Gómez, 2005; Langroudi, Mousavi, Falahatkar y Moradkhani, 2009; Luna y Gómez, 2005; Luna et al. 2010; Soriano y Hernández, 2002).

En contraste, en etapas juveniles se identifica un nivel de sobrevivencia superior al 77% en los individuos cuya alimentación es mixta (Bahadir, et al. 2012; Erdoglar y Olmez, 2009; Franco y Luna, 2015; García y Gómez, 2005; Luna, et al. 2010; Parada, et al. 2012; Rodríguez y Kochenborger, 2006), es importante destacar que la mortalidad según los autores mencionados fue producida por estrés a causa del manejo en la mayoría de los casos, factor considerado uno de los principales causantes de la muerte en los individuos de la actual investigación y cuya sobrevivencia se encuentra por encima de lo reportado en la literatura. Autores como Herath y Atapaththu (2013), sugieren que la artemia salina proporciona nutrientes como la vitamina C que

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

ayudan a mejorar la sobrevivencia, sin embargo, otros autores aclaran la necesidad de trabajar en identificar los factores que intervienen en la sobrevivencia (Luna et al. 2010).

El control de la sobrevivencia reviste una actividad de alta importancia ya que este repercute directamente en el volumen de ventas; para la especie *D. rerio* se reportan datos de sobrevivencia del 30-50 % en individuos con edades de 5 a 3 meses (Rocha, Ruiz y Coll, 2002); otros autores muestran un aumento en la sobrevivencia al incluir alimento vivo pasando de 63.33 a 88.2 % en larvas hasta los 15 días de edad (Luna, 2007).

Existe recopilación de información en la cual se establece la sobrevivencia de individuos hasta los 28 días entre 15-98% según el tipo de alimento suministrado resaltando un mayor porcentaje de crecimiento y sobrevivencia proporcionando alimento vivo (Lawrence, 2007). Para utilización de SRA se reportan sobrevivencias entre 61.5% y 99.4% para larvas y un 100% en cebras juveniles (Hawkyard et al. 2011; Lawrence et al. 2012; Pereira et al. 2017).

Para estos autores la mortalidad en etapas larvales es común ya que los individuos están iniciando su adaptación al medio y son susceptibles a cualquier manejo y estrés; sin embargo, por condiciones ambientales, de manejo y especialmente de alimentación (utilización de alimento vivo) se logra un resultado exitoso en la presente investigación. Aunque se presentó una diferencia en esta variable entre las dos especies evaluadas, se considera la posibilidad de que la adición de alimento vivo en estadios iniciales propicia efectos positivos en la sobrevivencia de los individuos. No obstante, otro factor que podría incidir en la tasa de sobrevivencia es la calidad de la semilla, ya que a una mayor fortaleza se esperaría una mayor resistencia ante las condiciones ambientales.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

**6.2.2 Medidas biométricas relacionadas al peso y la longitud corporal.** Al realizar el seguimiento de las especies *D. rerio* y *P. scalare* se observó un incremento del peso durante el periodo de investigación (Figura 11).

Sin embargo, las especies mencionadas presentan diferencias en la ganancia de peso, por ser especies cuyo crecimiento corporal es distinto y presentan variación etaria entre los individuos estudiados. La tabla 6 contiene los parámetros biométricos que permiten evidenciar el crecimiento de los individuos por grupos al finalizar el experimento. La longitud se valoró de forma individual en el transcurso de la investigación, tiempo en el cual se identificaron variaciones en cada especie. Se utilizó la longitud estándar como base para realizar las mediciones. Los escalares y las cebras presentaron un incremento total en la longitud estándar de 1.46 cm y 1.99 cm. (Figura 12). La ganancia de longitud en los 70 días del experimento al igual que la ganancia diaria se encuentra en la tabla 6.

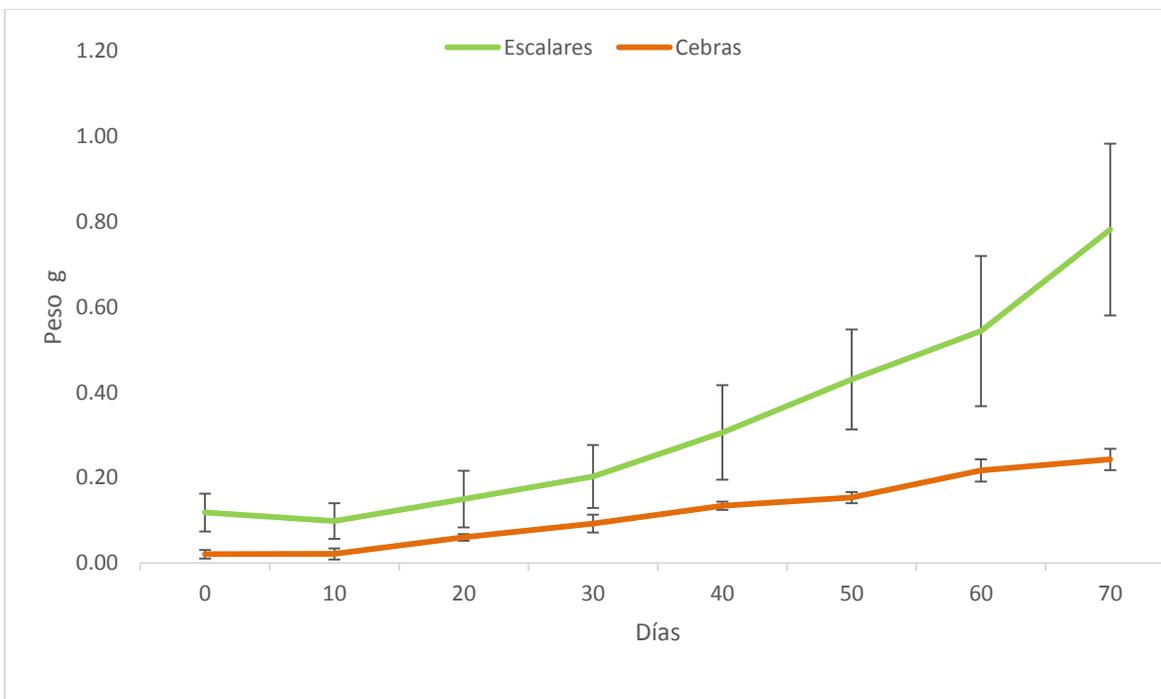


Figura 11. Peso promedio de escalares y cebras en el periodo experimental

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

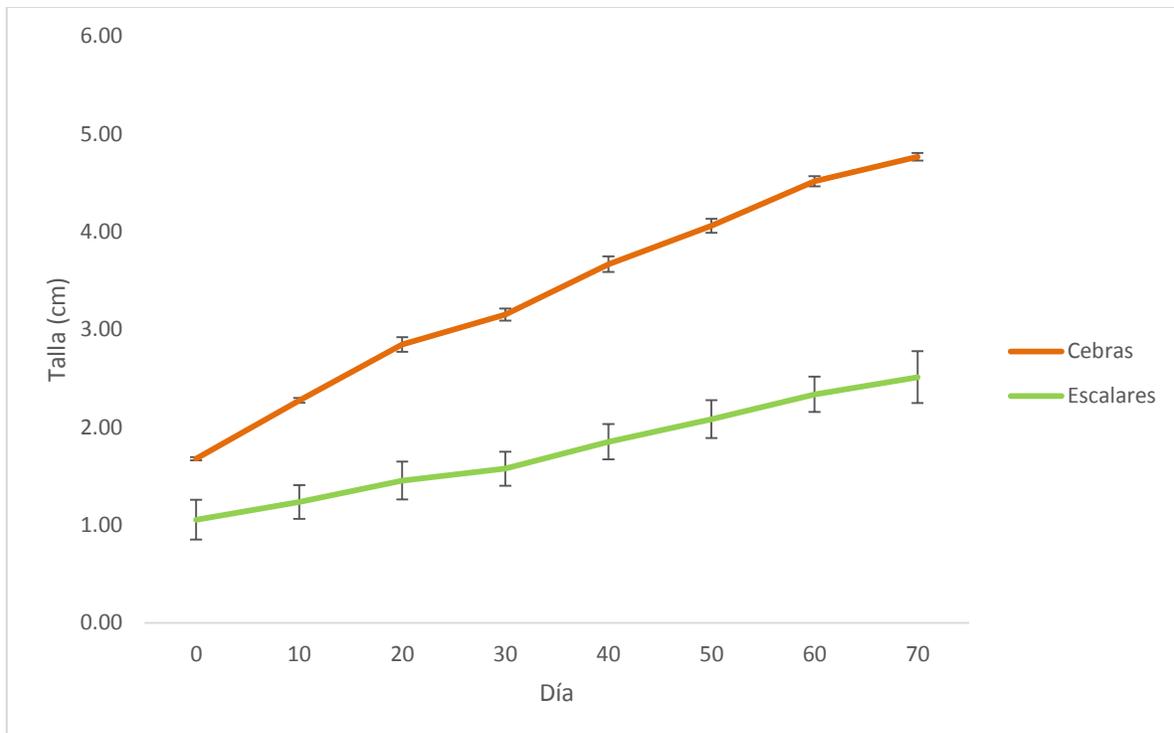


Figura 12. Longitud estándar en la población estudio

Tabla 6.

*Medidas biométricas de escalares y peces cebra*

Medida	Escalares			
	G1	G2	G3	G4
<b>PI</b>	0,12±0.03	0,06±0.003	0,07±0.03	0,15±0.01
<b>PF</b>	0,84±0.05	0,51±0.02	0,78±0.13	1,00±0.14
<b>GP</b>	0,72	0,45	0,71	0,85
<b>GDP</b>	0,012	0,008	0,012	0,014
<b>LEI</b>	1,15±0.09	0,82±0.07	0,97±0.06	1,28±0.11
<b>LEF</b>	2,63±0.15	2,14±0.15	2,53±0.24	2,76±0.22
<b>GL</b>	1,480	1,323	1,555	1,477
<b>GDL</b>	0,021	0,019	0,022	0,021

# SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

(Continuación tabla 6)

<b>Cebbras</b>				
	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>	<b>G4</b>
<b>PI</b>	0,01±0.003	0,04±0.013	0,03±0.013	0,007±0.003
<b>PF</b>	0,21±0.01	0,27±0.03	0,25±0.01	0,24±0.02
<b>GP</b>	0,20	0,23	0,22	0,23
<b>GDP</b>	0,003	0,004	0,004	0,004
<b>LEI</b>	0,63±0.06	0,64±0.07	0,60±0.05	0,63±0.07
<b>LEF</b>	2,21±0.17	2,31±0.14	2,25±0.22	2,25±0.16
<b>GL</b>	1,58	1,67	1,65	1,62
<b>GDL</b>	0,023	0,044	0,024	0,023

*Nota:* **PI:** peso inicial en g; **PF:** peso final g; **GP:** ganancia de peso en g; **GDP:** ganancia de peso diaria en g/día; **LEI:** longitud estándar inicial cm; **LEF:** longitud estándar final en cm; **GL:** ganancia en longitud cm; **GDL:** ganancia diaria de longitud cm/días.

Es importante destacar la presencia de individuos de menor tamaño en el grupo dos de los escalares, situación que altera el resultado obtenido para ganancia de peso diaria.

De igual manera, puede existir un sesgo en los datos obtenidos para la variable peso, ya que su medición se realizó de manera grupal diferente a lo ocurrido con la longitud que se hizo de manera individual.

Se observó una diferencia al momento de realizar la medición de la longitud para las especies estudiadas, ya que los escalares presentaron una ganancia menor en longitud estándar que el observado en altura, mientras las cebras tuvieron mayor ganancia en longitud estándar, lo que puede deberse a la variación en el crecimiento de las dos especies.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

Existen reportes de ganancias diarias de peso en un rango de 0.0053 a 0.061 g/día para los individuos de la especie *P. scalare* (Jiménez y Almeaga, 2012; Cerna et al. 2014; Parada et al. 2012; García y Gómez, 2005; Sampaio et al. 2006; Erdogan y Olmez, 2009; Bahadir et al. 2009; Sampaio et al. 2009).

Para la especie *D. rerio* según Lawrence et al. (2012), se reporta un valor de 0,0028 g/día en ganancia de peso diaria.

Para los escalares, se reporta una ganancia diaria en longitud de 0,029 cm/ día en individuos cuya longitud inicial fue 1,97 cm y se evaluaron en 28 días de experimento (Jiménez y Almeaga, 2012). En Cebras se reportan datos en longitud furcal y total, los cuales no son comparables con la longitud estándar utilizada en el trabajo realizado.

Al existir características específicas en duración y edad de los individuos en el proyecto actual, no puede realizarse una comparación de datos con los obtenidos por otros autores, ya que se presentan variaciones en la organización de estadios de vida de las especies en estudio.

### 6.3 Parámetros de crecimiento

El crecimiento de las especies estudiadas fue evaluado a partir de la relación existente entre dos a más de las variables como peso promedio, longitud estándar y edad; permitiendo de esta manera observar el comportamiento de los individuos en el sistema de recirculación y establecer tendencias de crecimiento y correlación en el tiempo.

**6.3.1 Tasa de crecimiento específico.** Los resultados obtenidos en los organismos pertenecientes a la especie *P. scalare* evidenciaron un mayor resultado en el grupo 2 respecto a

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

las demás agrupaciones de individuos, igual a los organismos de la especie *Danio rerio* donde se refleja un alto porcentaje en el mismo grupo respecto a las demás.

Para los escalares la tasa de crecimiento específica de las variables peso y talla, no se relacionan con las ganancias de peso y longitud diarias, caso contrario a las cebras, donde la tasa de crecimiento tiene relación directamente proporcional con estas variables, es decir, a mayor ganancia de peso diaria, mayor tasa de crecimiento específica.

Reportes realizados por Jiménez y Almeaga (2012), Cerna et al. (2014), García y Gómez (2005), Luna et al. (2010), Rodrigues y Kochenborger (2006), Erdogan y Olmez (2009), Bahadir et al. (2009) y Sampaio et al. (2009), en escalares juveniles indica un rango de tasa de crecimiento entre 1,04 y 6,28.

Para alevines se presenta un rango de la misma variable entre 2,13 y 5,03 expresado por, Herath y Atapaththu (2013), Soriano y Hernández (2002), Sampaio et al. (2006) y Luna et al. (2010). Por otra parte, Pereira et al. 2016) evidencia datos de peces cebras juveniles de 2,3 % para tasa de crecimiento específica.

Tabla 7.

*Tasa específica de crecimiento y ganancia de peso y longitud en escalares y cebras*

<b>Grupo</b>	<b>Escalares</b>			
	<b>TCE W</b>	<b>GDP g</b>	<b>TCE L</b>	<b>GDL g</b>
<b>G1</b>	2,46	0,01	1,18	0,02
<b>G2</b>	3,32	0,01	1,37	0,01
<b>G3</b>	2,35	0,01	1,37	0,02
<b>G4</b>	2,9	0,01	1,09	0,02

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

(Continuación tabla 7)

<b>Cebras</b>				
	<b>TCE W</b>	<b>GDP g</b>	<b>TCE L</b>	<b>GDL g</b>
<b>G1</b>	2,7	0,002	1,7	0,0226
<b>G2</b>	4,7	0,003	2,5	0,0444
<b>G3</b>	4,6	0,003	1,8	0,0235
<b>G4</b>	2,9	0,003	1,8	0,0232

*Nota:* TCE W: Tasa de crecimiento específica para el peso; GDP: Ganancia diaria de peso; TCE L: Tasa de crecimiento específica para la longitud; GDL: Ganancia diaria en longitud.

En los resultados obtenidos, los escalares presentaron una tasa de crecimiento específica dentro de los rangos establecidos por los autores mencionados.

Las cebras presentaron un valor superior al estipulado por el autor, obteniendo resultados aceptables para las dos especies.

**6.3.2 Modelo de crecimiento Gompertz.** Con el propósito de describir el crecimiento, se utilizó un modelo de predicción que permite observar el comportamiento de las especies en el tiempo teniendo en cuenta la edad y el peso de los individuos.

El modelo con mayor ajuste a los datos obtenidos para la especie *D. rerio* durante el experimento fue el de Gompertz, permitiendo predicciones más acertadas en el crecimiento de los individuos experimentales a través de los parámetros descritos en la Tabla 8.

A través de los parámetros obtenidos se logró modelar y comparar la curva de crecimiento con base en lo observado en cada uno de los grupos de manera independiente, frente al predicho observándose una dinámica muy similar entre los grupos evaluados.

Con base en los parámetros, se pudo estimar un peso al nacimiento de 0.7725 mg. El peso adulto promedio se estima en  $0.49 \pm 0.17$ g (rango: 0.3276g – 0.7715g), con un índice de madurez

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

promedio de  $0.0258 \pm 0.0070$  (rango: 0.0175 – 0.0369), es evidente la heterogeneidad que se presenta en el peso adulto, lo cual podría explicarse por la presencia de hembras y machos no identificados plenamente dentro de cada uno de los grupos.

En el caso de la especie *P. scalare*, no fue posible describir el crecimiento a través de algún modelo, debido a que los datos recopilados pertenecen a una fase muy temprana del crecimiento y la proyección hecha mediante funciones matemáticas no se ajusta a los parámetros ya conocidos para la especie, como es el peso adulto.

Tabla 8.

*Parámetros de crecimiento para peces cebra con el modelo de Gompertz*

<b>Grupo</b>	<b>a (Peso adulto)</b>	<b>b</b>	<b>c (Índice de madurez)</b>
<i>G1</i>	0,3744	1,748140	0,024361
<i>G2</i>	0,7715	1,717153	0,017523
<i>G3</i>	0,4220	1,880042	0,024447
<i>G4</i>	0,3276	2,211496	0,036898
<b>Peso promedio al punto de inflexión (g)</b>			0,1790
<b>Edad promedio al punto de inflexión (días)</b>			73,2045
<b>Tasa máxima de crecimiento promedio (g/d)</b>			0,0046
<b>Delta promedio (día)</b>			34,4557

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

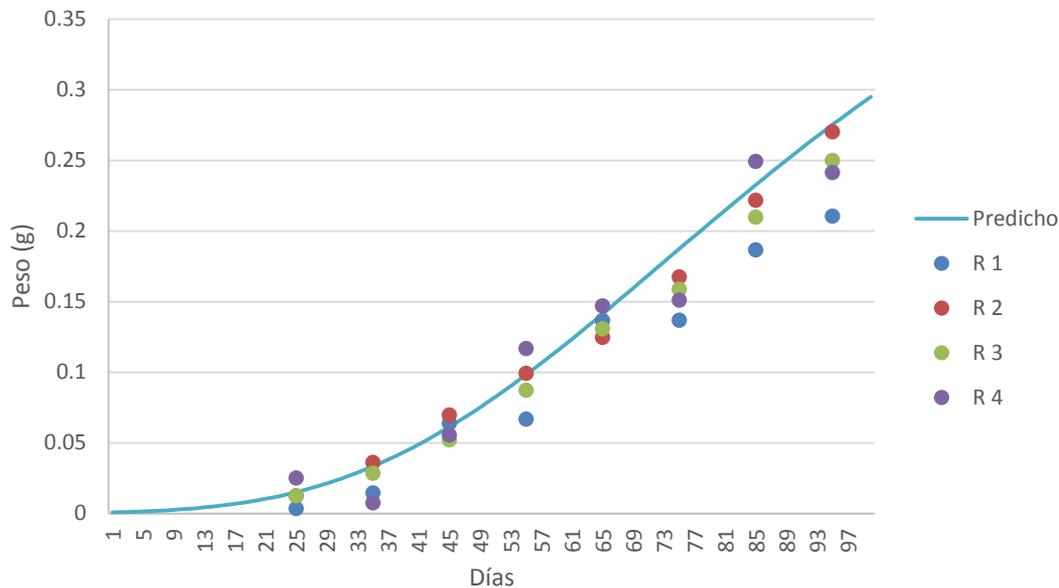


Figura 13. Crecimiento observado y predicho de peces cebras (*Danio rerio*)

Tabla 9.

*Factor de condición corporal inicial y final para las especies estudiadas*

Grupo	Escalares		Cebras	
	Inicial	Final	Inicial	Final
<b>G1</b>	0,0956	0,0461	0,1312	0,0194
<b>G2</b>	0,0967	0,0523	0,0482	0,0051
<b>G3</b>	0,1600	0,0482	0,0579	0,0220
<b>G4</b>	0,0604	0,0476	0,1024	0,0051

Bahadir et al. (2009) y Sampaio et al. (2009) obtuvieron resultados para juveniles de *P. scalare* de 1,98 y 1,56. Cerna et al. (2014), reporta resultados en alevinos de 2,61. En *D. rerio*, Hawkyard et al. (2011) identificó en larvas hasta los 28 días utilizando un sistema de recirculación acuícola, valores de 0,96 y 0,98 en el factor de condición corporal.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

Según los resultados obtenidos, se puede evidenciar un crecimiento significativo en longitud para las dos especies, resaltando una proporción mayor de crecimiento en cebras.

### 6.4 Parámetros de consumo

**6.4.1 Consumo estimado.** Realizando correcciones cada 10 días el alimento vivo se analizó con base al 4% de la biomasa para las dos especies y el concentrado comercial fue suministrado ad libitum teniendo en el residuo alimenticio, identificando el peso inicial del alimento suministrado y el sobrante después de adicionado.

En la Figura 14 se puede observar el consumo promedio diario de alimento vivo y balanceado para los escalares, en periodos de 10 días. Según los datos obtenidos en los grupos de individuos con mayor tamaño (G1, G3 y G4), el consumo de alimento balanceado hasta el tercer periodo fue superior al 5% de la biomasa. Posteriormente, disminuyó llegando a valores cercanos al 3,05% (valor correspondiente a G4 en el último periodo).

El grupo G2 presentó un consumo estimado superior al 5% durante todo el experimento, situación causada posiblemente por ser los individuos de menor tamaño de la población experimental perteneciente a esta especie.

En la especie *Danio rerio* el consumo estimado hasta el periodo 3, se mantuvo en valores inferiores al 5% de la biomasa en todos los grupos. Después de este tiempo se observó un incremento del consumo, llegando al 7,59% (dato perteneciente al último periodo del G1). La Figura 15 permite observar el consumo estimado de alimento balanceado para cada grupo en intervalos de 10 días y el consumo de alimento vivo (4% de la biomasa).

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

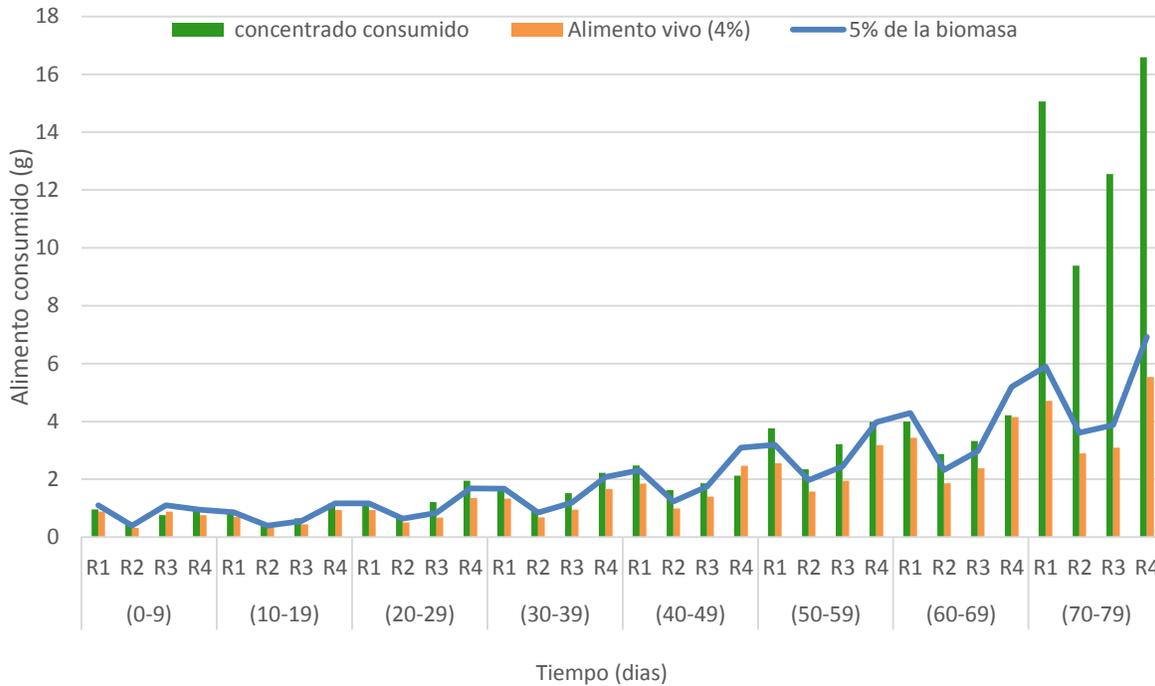


Figura 14. Consumo estimado de alimento balanceado y alimento vivo de los escalares.

Es importante destacar que al existir individuos de la especie *Danio rerio* más homogéneos, su consumo estimado presentó mayor uniformidad comparado con el observado para la especie *Pterophyllum scalare* cuya población fue heterogénea.

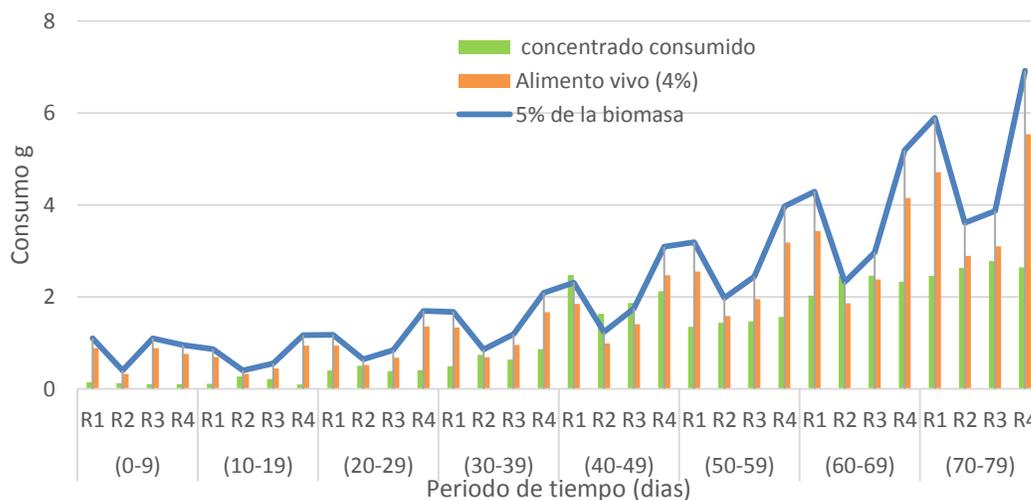


Figura 15. Consumo estimado de alimento balanceado y alimento vivo para las cebras.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

Visualmente, se observó una pérdida mayor de alimento en los acuarios pertenecientes a la especie *D. rerio* debido al temor que expresaron los peces hacia el manipulador del alimento, manteniéndose al extremo opuesto del acuario. Por esta razón, el consumo de alimento no fue inmediato, ocasionando un mayor depósito de alimento en el fondo.

Para escalares, el consumo de alimento está relacionado con la etapa de vida en la que se encuentran. Esta especie mantiene consumos entre el 5 y el 8% de la biomasa en las primeras etapas de vida, sin embargo, no es posible hablar de cubrimiento de requerimientos nutricionales ya que no han sido bien establecidos (Luna, 2007). Estudios realizados en alevinos y juveniles por Cerna et al. (2014), Parada et al. 2012, Soriano y Hernández, 2002, Garcia y Gómez 2005, establecen un suministro de alimento vivo entre 3-8 % de la biomasa, siendo más utilizado el 5%.

Según Cerna et al. (2014), los escalares alimentados con mayor contenido proteico tuvieron altos niveles de crecimiento, destacando los requerimientos proteicos estimados por Sampaio et al. 2009 y Ramsay et al. 2006 (23-34% de proteína bruta). Sampaio et al. 2006, definen los requerimientos proteicos para alevines del 32-34 % y para el 2009 establecen requerimientos del 26% en proteína cruda y 3100 kj de energía digestible por kg de alimento. El consumo estimado para el mismo autor se estima en 3.69 g.

Para la especie *Danio rerio* no se encontraron estudios que involucren el consumo estimado, sin embargo, Lawrence, 2007, expresa la necesidad de realizar un consumo observado usando un alimento con una partícula que se mantenga suspendida en la superficie por 5 minutos identificando los hábitos de consumo de los peces.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

De igual manera, el mismo autor, menciona que en sistemas intensivos los individuos de esta especie en etapa larval pueden alimentarse de un 50-300 % a diferencia de los adultos que llegan a un 100% del peso corporal. Los datos reportados por estos autores comparados con los obtenidos reflejan que los parámetros utilizados son aceptables y se encuentran en los rangos establecidos. El consumo estimado no puede compararse por la falta de datos. De igual manera se refleja la existencia de problemas con la partícula del alimento suministrado.

### 6.5 Parámetros económicos

Para la ejecución del proyecto se utilizaron diferentes materiales, mano de obra y animales. Cada uno de ellos fue agrupado dentro de los costos fijos y costos variables según se identifican en las tablas siguientes.

Tabla 10.

*Costos fijos*

<b>Materiales de fabricación del sistema de recirculación</b>				
<b>Detalle</b>	<b>U</b>	<b>Cd.</b>	<b>V.U.</b>	<b>V.T</b>
Tubos PVC 1"	Metros	2	3.500	7.000
Tubos PVC ½"		2	10.000	20.000
Tubos PVC de 1½"	Metros	4	3.000	12.000
Tapón liso 1½"		1	800	800,00
Codo de 1½"		1	1.300	1.300
Tubos de ¾"		2	2.800	5.600

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

(Continuación tabla 10)

Llaves de ½"		9	4.000	36.000
Universales de ½"	x	2	2000	4.000
Tornillos 8 x 1	docena	1	800	800
Chazos de 1/4	docena	1	400	400
Codos de ½"	x	27	350	9.450
Tapones	x	3	350	1.050
Machos de ½"	x	9	350	3.150
Hembras de ½"	x	9	350	3.150
T de ½"	x	9	350	3.150
Bomba sumergible P 2500	x	1	91.000	91.000
Termostatos	x	2	30.000	60.000
Teflón	rollos	2	2000	4.000
Limpiador de PVC mediano	tubo	1	3.500	3.500
Pegante de PVC mediano	tubo	1	3.000	3.000
Amarres plásticos	bolsa	1	7.000	7.000
Angeo fino	metros	2	3.500	7.000
Seguetas	x	1	2.500	2.500
Piedra de rio	kilos	30	300	9.000
Guata	metros	5	4.000	20.000
Acuario filtro 25.5x48x 28.5 cm	x	1	23.000	23.000
Termómetro		3	25.000	75.000
Acuarios 29x49x25 cm	x	10	21.000	210.000

SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

(Continuación tabla 10)

<b>Individuos experimentales</b>				
<b>Detalle</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
<i>Pterophyllum scalare</i>	Pez	60	350	21.000
<i>Danio rerio</i>	Pez	60	200	12.000
<b>Materiales de uso diario</b>				
Vaso Beaker	600 ml	5	2.000	10.000
Nasas	6 "	12	4.600	55.200
Nasas	4"	2	3.800	7.600
Regleta milimetrada	200 mm	1	5.000	5.000
Registros	x	9	200	1.800
Hojas de papel	Resmas	1	15.000	15.000
Carpetas	x	9	500	4.500
Guantes	Caja	1	19000	19.000
Esponja	x	2	500	1.000
<b>Materiales para producción y manejo del alimento vivo</b>				
<b>Detalle</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Pulga de agua	cepa	4	14.000	56.000
Microgusano	cepa	1	3.500	3.500
Tenebrio	cepa	1	7500	7.500
Artemia salina	gramos	3	10.000	30.000

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

(Continuación tabla 10)

Recipientes de plástico				
transparentes	x	6	2.000	12.000
Acuarios 10 L	x	7	0	0
Bolsas		2	3.500	7.000
Aireador	x	2	24.000	48.000
Piedras difusoras		6	2.000	12.000
Levadura	gramos			0
Avena	gramos			0,00
Vaso Baker	1000 ml	2	0,00	0,00
Nasas	6 “	2	4.600,00	9.200
Nasas	4 “	2	3.800,00	7.600
Hoja milimetrada				
	200 mm	2	3.000,00	6.000
Registros	X	9	200	1.800
Hojas de papel	Resmas	1	15.000	15.000
Carpetas	X	9	500	4.500
Esponja	X	2	500	1.000
<b>Mano de obra indirecta</b>				
Asesoría	X	x	200.000	200.000
Transporte	Pasajes	2	42.500	85.000
Hospedaje	Noche	2	25.000	50.000
Alimentación	X	x	28.000	28.000

# SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

(Continuación tabla 10)

<b>Servicios públicos</b>				
Luz		113	481.87	54.451
Agua	X	x	58.900	58.900
<b>Total</b>				1.472.401

Tabla 11.

*Costos variables*

<b>Mano de obra directa</b>				
<b>Detalle</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Personal		2	300.000	600.000
<b>Alimentación</b>				
Alimento balanceado para peces ornamentales.	Gramos	150	250	37.500
Espirulina	Gramos	30	250	7.500
Sal marina	Gramos	500	7	3.500
Salvado de trigo	Kilogramo	10	1025	10.250
Harina de trigo	Gramos	500	3	1.500
<b>Total</b>				660.250

Costos totales = costos fijos + costos variables

$$660.250 + 1.472.401 = 2.132.651$$

Costo variable unitario = costos variables totales / productos vendidos

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

$$\text{CVU} = 660.250 / 120 = 5.502,1$$

### 6.6 Ingreso

Con el fin de evaluar la retribución del negocio y realizar una proyección a futuro, se realizó la venta de los ejemplares en el mercado local.

El cuadro 5 expone los ingresos obtenidos en el experimento.

Tabla 12.

*Ingresos obtenidos.*

<b>Venta de individuos experimentales</b>				
<b>Detalle</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
<i>Pterophyllum scalare</i>	Peces	60	6.000	360.000
<i>Danio rerio</i>	Peces	60	6.000	360.000
<b>Venta de alimento vivo producido</b>				
Pulga de agua	Cepa	4	14.000	56.000
Artemia	Cepa	1	26.000	26.600
Microgusano	Cepa	4	8.000	32.000
<b>Total</b>				<b>834.600</b>

### 6.7 Punto de equilibrio

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

Con el fin de identificar el momento donde los ingresos pueden cubrir los gastos de producción, se hace necesario hallar el llamado punto de equilibrio como se muestra a continuación:

$$\text{Punto equilibrio} = \frac{\text{costos fijos}}{\text{precio de venta unitario} - \text{costos variables}}$$

$$\text{Punto equilibrio} = \frac{1.472.401}{6.000 - 5.502,1} = 2.957,22$$

Se necesita vender un total de 2.957 peces en el año para lograr obtener lo invertido, pero si se producen 120 individuos al año.

Sin embargo, se logró obtener individuos para venta en un tiempo de 4 meses, es decir, tres producciones de 120 peces anuales (si se quiere conservar la misma densidad de siembra) llevando a ser 360 individuos anuales. Así se podría llegar a conseguir en 8 años la retribución de la inversión.

Comparando la densidad de siembra utilizada en el actual experimento, se puede aumentar logrando obtener una mayor producción en menor tiempo, lo que repercute directamente en lograr el punto de equilibrio en menor cantidad de años a la establecida.

Para evidenciar el ahorro producido por un sistema de recirculación, es necesario evaluar y comparar los elementos utilizados en un sistema de recirculación y un acuario convencional. Así se puede observar la siguiente información:

### **6.8 Eficiencia en ahorro hídrico y eléctrico**

**6.8.1 Pérdida de agua por limpieza.** En un sistema convencional se realiza recambio de agua semanalmente si se cuenta con un filtro adecuado. Según varios autores se estima que el

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

recambio de agua es aproximadamente el 10% del total con el fin de evitar inconvenientes con los peces (Landines, et al.2007).

Comparando los datos obtenidos de pérdida de agua y los recambios realizados de 20 días donde al contar con un filtro eficiente se devolvía la mayor parte del agua después de la limpieza dando como resultado una pérdida de 3 litros en cada limpieza.

Comparando los datos se realizan las siguientes operaciones y se obtiene un ahorro del 93% de agua.

Acuario de 32L: Semanal aproximado 10%: 3,2L/semana.

SRA con 9 acuarios de 32L: cada 20 días 4L. Semanal 1,33L. Por acuario: 0,15L (93% de ahorro).

**6.8.2 Ahorro energético.** En la evaluación del ahorro energético se realiza la conversión del gasto por los equipos utilizados según lo muestran los siguientes cálculos:

Acuario: termostato 12Kw/h; aireador 6Kw/h. Día: 432 KW/acuario. 9 acuarios: 3888 KW/día

SRA: termostato 12Kw/h; Bomba sumergible 24KW/h. Día: 864 KW/día (78% de ahorro)

## 7. Conclusiones

- El modelo de sistema de recirculación acuícola garantiza parámetros de calidad de agua que permiten la producción de las especies evaluadas evidenciando que el filtro y su maduración se convierten en la base fundamental del sistema y permite mantener las características del agua deseadas para las especies en estudio.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

- Las variables productivas evidencian una adecuada adaptación de los individuos al modelo de recirculación utilizado, ya que los parámetros de crecimiento se encuentran acorde a las especies.

- El modelo de recirculación promueve un uso eficiente de energía, agua y mano de obra, permitiendo un ahorro notorio de estos recursos comparado con un sistema de acuarios convencionales.

## 8. Recomendaciones

- Al realizar el diseño del modelo de recirculación es importante tener en cuenta la ubicación de la salida de agua en los acuarios ya que puede afectar la limpieza de la base y crear un almacenamiento de desechos.
- Se necesita realizar una clasificación dentro de cada especie utilizando peso y longitud con relación a la edad ya que de esta manera se podrán realizar mejores comparaciones entre investigaciones.
- Es importante realizar otras medidas de crecimiento en los peces y compararlas. Una de estas medidas que deben realizarse es la altura especialmente en los escalares para evaluar la proporción de crecimiento de largo y alto.
- Para que las mediciones se realicen adecuadamente debe implementarse una técnica que permita obtener el peso individual y a su vez mejorar la toma de longitud evitando producir estrés a los individuos.
- Se recomienda realizar estudios sobre la producción de alimento vivo, su crecimiento y mantenimiento con el fin de facilitar su utilización.

**Referencias bibliográficas**

- Agudelo Gómez, D. A. (2006, enero). Establecimiento de un centro de reproducción de *Pterophyllum Scalare* (pez ángel o escalar). *Revista lasallista de investigación-vol.2(2)*, p26-p30. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/26506395\\_Establecimiento\\_de\\_un\\_centro\\_de\\_reproduccion\\_de\\_Pterophyllum\\_Scalare\\_pez\\_angel\\_o\\_escalar](https://www.researchgate.net/publication/26506395_Establecimiento_de_un_centro_de_reproduccion_de_Pterophyllum_Scalare_pez_angel_o_escalar)
- Argueta Reyes, L. y Ramos Meléndez, G. K. (2013). *Contenido de Proteína, Grasa, Calcio, Fósforo en larvas del escarabajo molinero (Coleoptera: Tenebrionidae: Tenebrio molitor L.) alimentadas con diferentes sustratos y fuentes de agua; para ser utilizadas como alimentación de animales silvestres*. Universidad de El Salvador. San Salvador.
- Arredondo F, J.L, Campos R., Villareal E., Rodríguez A., Sánchez P., Ingle G. & Ibáñez L.A. (1996). Descripción, operación y resultados de un sistema de recirculación cerrado para acuicultura. *Contactos*. V.18. 33-38. Recuperado de: <http://www.izt.uam.mx/pexpa/pdf/pexpa.pdf>
- Universidad Nacional del Altiplano de Puno. (2014). *Plan nacional para el desarrollo de la acuicultura sostenible en Colombia – PLANDAS, Colombia:FAO*.
- Ávila B. M., León I., Guevara Rozo, E. (2008, diciembre). Organogénesis del sistema digestivo del pez *Pterophyllum scalare* (Perciformes: Cichlidae). *Rev. Biol. Trop.* 56 (4), 1857-1870.
- Bahadir K. S., Diler I., Dulluc A., Yigit Nalan O., Bayrak H. (2009). Effect of Different Feed Types on Growth and Feed Conversation Ratio of Angel Fish (*Pterophyllum scalare* Lictenstein, 1823). *Journal of Applied Biological Sciences* 3(2), 7-11.
- Cárdenas S, Cañavate J. (1998, febrero). Recirculación de Agua a través de Filtros Biológicos en Cultivos de Peces Marinos. *Revista AquaTIC*. Recuperado de: <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=h&c=24>
- Castro Barrera T., Lara Andrade R., Castro G., Mejía., Castro Mejía J., Sánchez A. (2003). Alimento vivo en la acuicultura. *Contactos*, V.48,27-33.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

- Cerna Meza L., Chu Koo F., Alcántara Bocanegra F., Mori P. L. (2014). *Crecimiento y sobrevivencia de alevinos de pez ángel, Pterophyllum scalare (Perciformes, cichlidae) alimentados con tres dietas balanceadas comerciales* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú.
- Cerón Ortiz, A.N.; Peña Hernández, J.N.Y.; Peña Hernández, D.; Ángeles Monroy, M.A. & J.A. León E. (2012). *Ensayo preliminar del manejo del cultivo de Tenebrio molitor como un posible ingrediente alternativo en dietas balanceadas para organismos acuáticos* (Tesis de pregrado). Instituto Tecnológico Superior del occidente del estado de Hidalgo, México.
- Colombia. Ley 13 de 1990. Congreso De La Republica, 1-14 (15 de enero de 1990).
- Colombia. Proyecto de Ley 025 de 2014, 2-5, Congreso De La Republica (noviembre 2 del 2014).
- Colombia. Decreto 4181, 1-13, Presidente De La República. (noviembre 03 del 2011).
- Correa Guerrero E. (22 de noviembre 2013). *El comercio de peces ornamentales: un negocio con potencial exportador en Colombia* (Tesis de pregrado). Universidad militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.
- Ruales C. A. y Castañeda Á. G. D. (2014) Larvicultura de peces comerciales en sistemas de recirculación. *Journal of Engineering and Technology*. Recuperado de <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/70/1/199-216.pdf>
- Dirección de Acuicultura. (2008). *Panorama actual del comercio internacional de peces ornamentales* (1). Recuperado de [http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/\\_archivos/000000\\_Desarrollos%20Acu%C3%ADcolas/081110\\_Panorama%20actual%20de%20comercio%20internacional%20de%20Peces%20Ornamentales.pdf](http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos/000000_Desarrollos%20Acu%C3%ADcolas/081110_Panorama%20actual%20de%20comercio%20internacional%20de%20Peces%20Ornamentales.pdf)
- Dumitrasco M., (2011). Artemia salina. *Balneo-Research Journal*. V.2, 119-122.
- Engel Ugalde R. (2013) Sistemas de Recirculación de Agua para la Acuicultura en el estado de Hidalgo. F. Cantú (presidente) *Memoria de ponencias Think Green. 46° Congreso de investigación y desarrollo del tecnológico de Monterrey*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. México.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

- Engorda F. y Olmez M. (2009). Effect of enzyme supplementation in diets of growth and feet utilization in Angel fish (*Pterophyllum scalare*). *Journal of animal and veterinary advances* 8(9), 1740-1745.
- Franco M.P. Y Luna F. J. (2015). Consumo de pre-adultos de mosquitos por peces ornamentales. *Avances en la investigación agropecuaria* 19 (1), 53-67.
- Figueroa A. y Campos R. (1996). Descripción, operación y resultados de un sistema de recirculación cerrado para acuicultura. *Contactos* V.18, 33-38 Recuperado de <http://www.izt.uam.mx/pexpa/pdf/pexpa.pdf>
- Garcés V. R. J. (2012). *Implementación de una técnica biológica para determinar niveles de toxicidad aplicando Daphnia magna (crustácea: cladócer) en el agua de vertiente utilizada en el sector de Huachi la Libertad* (Tesis de Pregrado). Recuperado de <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6639/1/BQ%2046.pdf>
- García G. I., Amaya R. I., Gallegos M. G., Rodríguez Herrera R. y Aguilar Cristóbal N. (2012, enero). Análisis de hidrolasas de *Metarhizium anisopliae* en cultivo solido sobre espuma de poliuretano como soporte. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 3(5), 71-78. Recuperado de <http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/Documentos/AQM/AQM5/hidrolasas.pdf>
- García U. M. y Gómez R. H. J. (2005). Crecimiento de juveniles del pez ángel *Pterophyllum scalare* [Gunther, 1862] alimentados con dietas inertes. *Avances en investigación agropecuaria*, 9(3),49-60.
- Hawkyard M, Saele O., Nordgreen A., Langdon C., Hamre K. (2011). Effect of iodine enrichment of *Artemia* sp. on their nutritional value for larval zebrafish (*Danio rerio*). *Aquaculture*, 316(2011), 37-43. Recuperado de [http://www.hatcheryfeed.com/article-files/file\\_1322257349\\_2.pdf](http://www.hatcheryfeed.com/article-files/file_1322257349_2.pdf)
- Herath S. S. y Atapaththu K. (2013). Sudden weaning of angel fish *Pterophyllum scalare* (Lichtenstein) (Pisces; Cichlidae) larvae from brine shrimp (*Artemia* sp) nauplii to formulated larval feed. *SpringerPlus* 2(1), 102.
- Hernández C. (2009). *Estudio preliminar del levante de juveniles de arawana plateada (osteoglossum bicirrhosum) en sistema cerrado de recirculación en la estación*

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

*experimental rio grande en el municipio de Cajicá (Cundinamarca)* (Tesis de Pregrado). Universidad Militar Nueva Granada, Bogota.

Institutos de Investigación SINA. (2015). Informe del estado del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (2012, 2013 y 2014). (Versión preliminar). Recuperado de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023236/IEARN\\_segunda\\_parte\\_e\\_cosistemas\\_2014.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023236/IEARN_segunda_parte_e_cosistemas_2014.pdf)

Intriago Sánchez T. y Valencia Burgos Y. (2014). *Determinación de antocianinas y valor nutricional de los tenebrios (Tenebrio molitor) alimentados con dietas enriquecidas con maíz morado (Zea mays L.)*. Tesis de pregrado. Quito. Recuperado de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023236/IEARN\\_segunda\\_parte\\_e\\_cosistemas\\_2014.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023236/IEARN_segunda_parte_e_cosistemas_2014.pdf)

Jiménez Rojas J., Alméciga Díaz P., Herazo Duarte D. (2012). Desempeño de juveniles del pez ángel *Pterophyllum scalare* alimentados con el oligoqueto *Enchytraeus buchholzi*. *Universitas Scientiarum* 17(1), 28-34.

Kubitza F. (2006). *Sistema de recirculación Cerrada*. Recuperado de [https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/otros/\\_archivos//000004\\_Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20cerrada.pdf](https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/otros/_archivos//000004_Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20cerrada.pdf)

Landines Parra M. Á., (2007). Producción de peces ornamentales de la Orinoquía colombiana. *Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola* 2(2), 1-38.

Landines Parra M. Á., Sanabria Ochoa A. I. Daza P.V. (2007). *Producción de peces ornamentales e Colombia*. Incoder-UNAL.

Langroudi H., Mousavi S., Falahatka B. y Moradkhani Z. (2009). Effect of diets containing artemia enriched with unsaturated fatty acids and vitamin C on angel fish *Pterophyllum scalare* propagation. Guilan University. *International Aquatic Research* 1 (2009) 1: 67-72.

Lawrence C. (2007). The Husbandry of zebrafish (*Danio rerio*). A review. *Aquaculture* 269 (2007), 1-20.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

- Lawrence C., Best J., James A. y Maloney K. (2012). The effects of feeding frequency on growth and reproduction in zebrafish (*Danio rerio*). *Aquaculture* 368(2012), 103–108. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848612005595>
- LEGISCOMEX (2013). *Estudio de mercado Peces ornamentales en Colombia 2013*. Bogota: Legiscomex.com. LEGIS EDITORES S.A. <http://www.legiscomex.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/estudio%20peces%20ornamentales%20completo3.pdf>
- Luna F. J. (2007). Incorporación de larvas de mosquito *Culex stigmatosoma* (Diptera:Culicidae) en la dieta del pez cebra *Brachidanio rerio* (Pisces:Cyprinidae) y su efecto en la reproducción. *Avances en la investigación agropecuaria* 11(1), 49-59.
- Luna F. J. (2009). Nematodo de vida libre *Panagrellus redivivus* (Goodey, 1945): Una alternativa para la alimentación inicia de larvas de peces y crustáceos. *Investigación y ciencia de Universidad Autónoma de Aguascalientes* 45, 4-11. Recuperado de <http://132.248.9.34/hevila/InvestigacionycienciaUniversidadautonomadeaguascalientes/2009/vol17/no45/1.pdf>
- Luna F.J. y Gómez Pegueros E. (2005). Incorporación de *Culex quinquefasciatus* y *Daphnia sp.* en la dieta y su influencia en la reproducción de *Pterophyllum scalare* (Pisces:Cichlidae). *Naturaleza y desarrollo* 3(1),5-10.
- Luna F. J, Vargas Z. T. De J. y Figueroa T. J. (2010). Alimento vivo como alternativa en la dieta de larvas y juveniles de *Pterophyllum scalare* (Lichtenstein, 1823). *Avances en investigación agropecuaria* 14(3), 63-72.
- Mancera R. N. J. y Álvarez León R. (2007). Comercio de peces ornamentales en Colombia. *Acta biol. Colomb.*13(1), 23 - 52
- Moreno F. M. (2013). *Mantenimiento en el laboratorio del pez cebra (Danio rerio)* (Tesis de Pregrado). Universidad del País Vasco. España.
- Ocampo L. E, Botero M. C, Restrepo L. F. (2010, marzo). Evaluación del crecimiento de un cultivo de *Daphnia magna* alimentado con *Saccharomyces cereviseae* y un enriquecimiento con avena soya. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 23(1), 78-

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

85. Rescatado de  
<https://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/rccp/issue/view/2393>

Ocampo F. (2007) Cultivo de tilapia, una alternativa de desarrollo socioeconómico. *Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola* 2(2), 129-131. Recuperado de <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/view/1623/1996>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. (2016). *Pesca y acuicultura en Colombia, Colombia: OCDE*

Parada G. S., Virgüez P. A. y Cruz C. P. (2012, noviembre). Experiencias sobre cultivo de peces ornamentales en la Cooperativa. *Orinoquia Suplemento* 13(2), 248-255.

Parrado S.Y. A. (2012). Historia de la Acuicultura en Colombia. *Revista AquaTIC* V.37, 60-77.

Pereira A., Carvalho A. P., Cruz C. y Saraiva A. (2017). Histopathological Changes and zootechnical performance in juvenile zebrafish (*Danio rerio*), under chronic exposure to nitrate. *Aquaculture* V.473, 197-205. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848616309115>

Pérez E., Díaz F. y Espina Sonia. (2003). Thermoregulatory behavior and critical thermal limits of the angelfish *Pterophyllum scalare* (Lichtenstein) (Pisces: Cichlidae). *Journal of Thermal Biology* 28(8), 531-537. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030645650300055X>

Ramsay J. M., Feist G. W., Varga Z. M., Westerfield M., Kent M. L., y Schreck C. B. (2006). Whole-body cortisol is a indicator for in crowding stress in adult Zebrafish, *Danio rerio*. *Aquaculture* V.258, 565-574. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004484860600295X>

Rocha A., Ruiz S. y Coll J.M. (2002). Método sencillo para producir huevos embrionados de pez cebra. *Investigación agropecuaria: Produccion, Sanidad, animal* V.7, 93-102

Roeselers G., Mittge K. E., Stephens Z. W., Parichi M. D., Cavanaugh C. M., Guillemin K., Rawls F. J. (2011). Evidence for a core gut microbiota in the zebrafish. *The ISME journal* 5(10), 1595-1608. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3176511/>

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

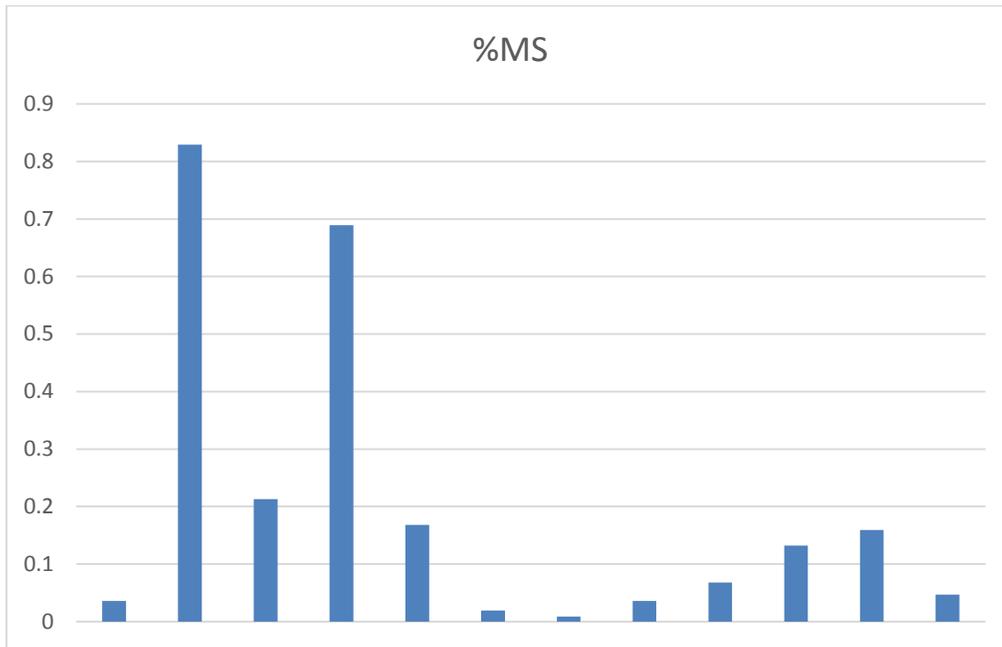
- Rodrigues L. A., Kochenborger F. João B. (2006). Influência do processamento da dieta no desempenho produtivo do acará bandeira (*Pterophyllum scalare*). *Aquicultura* 28(1), 113-119.
- Rodríguez O. T. (2011, septiembre). *Los peces de Aroa y Yaracuy: una guía para su conservación*. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA) & Iniciativa de Especies Amenazadas (IEA-PROVITA). Recuperado en: [http://cdcht.ucla.edu.ve/investigacion/peces/2.%20Pagina%20WEB%20Peces%20Aroa%20Yaracuy%202007/Fichas%202011/30\\_Poecilia\\_caucana.pdf](http://cdcht.ucla.edu.ve/investigacion/peces/2.%20Pagina%20WEB%20Peces%20Aroa%20Yaracuy%202007/Fichas%202011/30_Poecilia_caucana.pdf).
- Sampaio Z. J. A., Salaro A. L., Balbino E. M., Saraiva A., Quadros M. y Lima F.R. (2006, junio). Níveis de proteína bruta em dietas para alevinos de acará-bandeira. *Revista Brasileira de Zootecnia* 35(5), 1893-1896.
- Sampaio Z. J. A., Salaro A. L., Silveira M.S. S., Moreno De Oliveira A. L., Balbino E. M. y Siqueira A. E. (2009, enero). Dietary protein and energy requirements of juvenile freshwater angelfish. *Revista Brasileira de Zootecnia* 38(6), 989-993.
- Shahid S. I, Yahyavi M. And Nokhbe Z. D. (2014). Influence of Dietary Organic Acids Supplementation on Reproductive Performance of Freshwater Angelfish (*Pterophyllum scalare*). *Global Veterinaria* 13 (3) 373-377.
- Sistema de Información sobre Biodiversidad. (2014). ¿Cuántas Especies Están Amenazadas En Colombia? Sistema de información de biodiversidad colombiana, Bogotá. Colombia: SIB
- Soriano Salazar M.B., Hernández Ocampo D. (2002). Tasa de crecimiento del Pez Ángel *Pterophyllum scalare* (Perciformes: Cichlidae) en condiciones de laboratorio. *Acta universitaria* 12(2), 28-33.
- Soto H. (2003, julio). Gusanos de la harina (Larvas de *Tenebrio molitor*). *Revista de ornitología* 2(2), 39-40. Recuperado de [http://www.ornitouy.com/Gusanos\\_del\\_harina.pdf](http://www.ornitouy.com/Gusanos_del_harina.pdf)
- Trelles A. Z. y Alva K. V. (2015, enero). Producción de semilla de *Pterophyllum scalare*, “pez ángel” en sistema cerrado. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas* 35(1), 91-98.

## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

Velásquez L. J. A. y Correa B. J. E. (2012). *Creación de empresa piscícola aguas claras* (Tesis de Pregrado). Corporación Universitaria Lasallista Facultad de Ciencias Administrativas y Agropecuarias, Caldas, Colombia Recuperado en: [dehttp://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/807/1/CREACION\\_EMPRESA\\_PISCICOLA\\_AGUAS\\_CLARAS.pdf](http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/807/1/CREACION_EMPRESA_PISCICOLA_AGUAS_CLARAS.pdf)

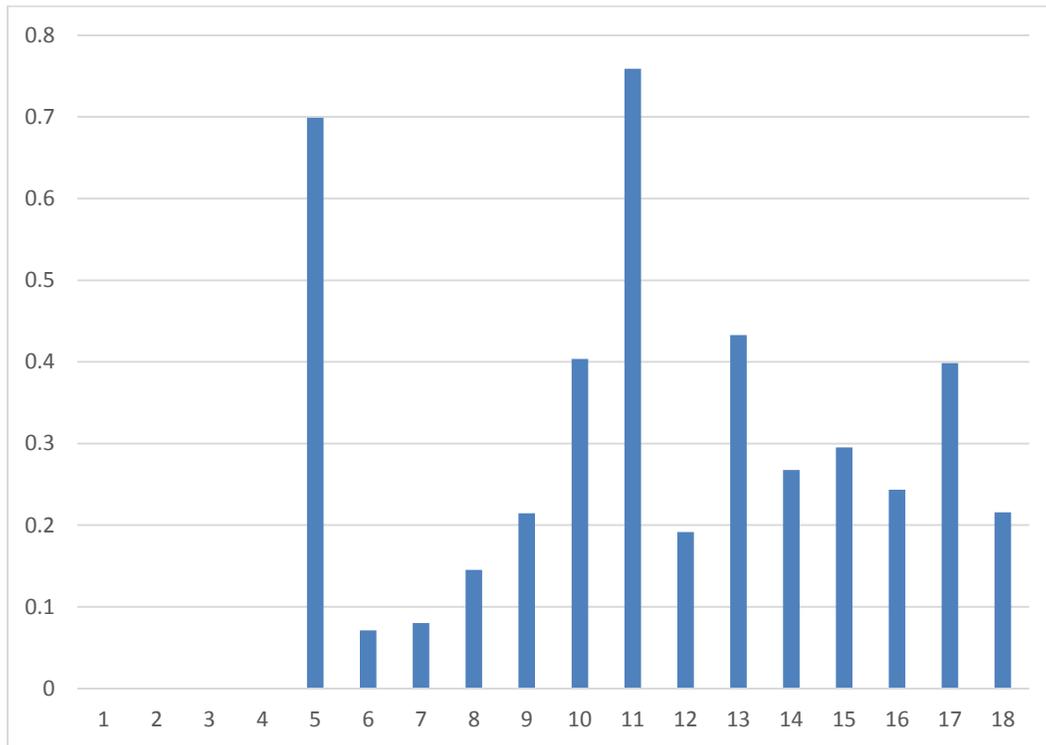
Apéndices

Apéndice A: Porcentaje de materia seca producida por el microgusano



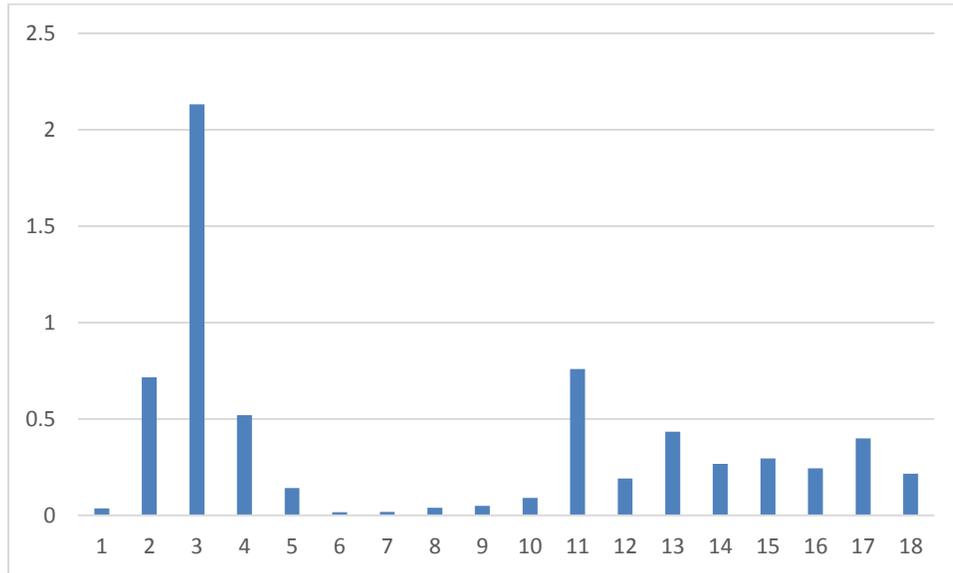
# SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

*Apéndice B:* Peso del microgusano con el paso de los días.



## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

*Apéndice C: Crecimiento en el tiempo de la población de microgusano.*



## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

### *Apéndice D: Construcción sistema de recirculación*



## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

### *Apéndice E: Recepción y climatización de animales*



## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

*Apéndice F: Selección de individuos*



## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

### *Apéndice G:* Sistema de recirculación



## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

*Apéndice H:* Toma de medidas biométricas



## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

*Apéndice I: toma de medidas biométricas*



## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

*Apéndice J: pesaje de alimento*



## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

*Apéndice K:* kit para medir calidad de agua. Medición de nitritos



## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

*Apéndice L:* kit para medir calidad de agua. pH, oxígeno disuelto, dureza



## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

*Apéndice M:* kit para medir calidad de agua. Alcalinidad.



## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

*Apéndice N:* kit para medir calidad de agua. Amonio.



## SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN PECES ORNAMENTALES

*Apéndice O:* kit para medir calidad de agua. Amonio.

