

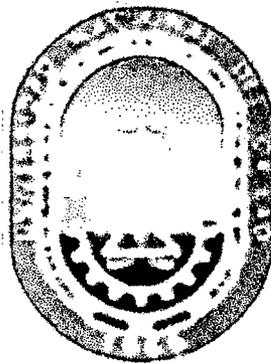
207



1 JUL 2015

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA Y**  
**DE ALIMENTOS**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD**  
**DE INGENIERÍA Y DE ALIMENTOS**



R E C I B I D O	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
	VICE-RECTORADO DE INVESTIGACIÓN
	16 JUN 2015
	HORA: 14:40
	FIRMA:

**INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**"EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS Y DE CALIDAD DE AGUA EN EL CULTIVO DE TILAPIA *Oreochromis niloticus* EN SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN CERRADA EN LABORATORIO"**

**ARNULFO ANTONIO MARILUZ FERNÁNDEZ**

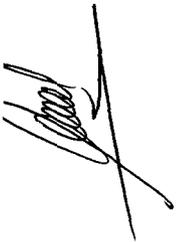
**Periodo de ejecución: Del 01-07-13 al 30-06-15**

**(Resolución de Aprobación N°710-2013-R)**

**Callao, 2015**

## ÍNDICE

a INDICE.....	01
b. RESUMEN.....	02
c. INTRODUCCIÓN.....	03
d. MARCO TEÓRICO.....	08
e, MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
f. RESULTADOS.....	36
g. DISCUSIÓN.....	46
h. REFERENCIALES.....	48
i .APÉNDICE.....	53
j. ANÉXOS.....	62



## b). RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de un sistema de recirculación cerrado en los parámetros de calidad de agua como oxígeno disuelto, pH, amoníaco, nitritos y parámetros de crecimiento de alevines de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) como ganancia de peso, tasa de crecimiento absoluto, tasa de crecimiento específico TCE %/día, conversión alimentaria y coeficiente térmico de crecimiento, para lo cual se diseñó 2 tratamientos con 3 repeticiones cada uno T1 (40 peces/100L agua) y T2 (30 peces/100 L de agua), haciendo un total de 6 unidades experimentales con sistemas de recirculación, los flujos de agua a la entrada en cada unidad experimental fue de 250 L por hora. La temperatura del agua en las unidades experimentales se mantuvo entre  $23,5 \pm 0,5$  °C a  $24,5$  °C, el oxígeno disuelto entre  $7,54 \pm 0,21$  y  $7,73 \pm 0,31$  mg de  $O_2$  / L de agua; el pH entre  $7,23 \pm 1,0,34$  a  $7,58 \pm 0,35$ ; el amoníaco entre 0,21 a  $0,30 \pm 0,02$  mg/L, los nitritos entre  $0,36 \pm 0,03$  y  $0,39 \pm 0,042$  mg/L respectivamente, no registrándose diferencia significativa entre los parámetros físico químicos de los dos tratamientos, se les alimento con una tasa alimenticia de 15% al inicio terminado con una tasa de 3% de acuerdo al aumento de peso; se midieron y pesaron los peces al inicio y cada 30 días durante 180 días, obteniéndose los siguientes resultados: Peso final T1  $77,31 \pm 2,30$  g; T2  $78,31 \pm 2,60$  g; La tasa de crecimiento absoluto para el tratamiento T1  $0,44 \pm 0,05$  g; para el tratamiento T2 de  $0,47 \pm 0,04$  g; no encontrándose diferencia significativa entre estos parámetros; La tasa de crecimiento específico para el tratamiento T1 fue de  $2,09 \pm 0,30$  %/día para el tratamiento T2 fue de  $2,49 \pm 0,45$  %/día; La conversión alimentaria para el tratamiento T1 fue de 1,24 y el tratamiento T2 de  $1,21 \pm 0,27$ ; El coeficiente térmico de crecimiento para el T1 fue de  $0,0882 \pm 0,005$  y para el T2 fue de  $0,0892 \pm 0,004$ ; El factor de condición para T1 fue de  $1,51 \pm 0,42$  y para el T2 fue de  $1,50 \pm 0,22$ , no encontrándose diferencia significativas ( $P > 0,05$ ) entre los parámetros de cultivo concluyendo que los sistemas de recirculación se puede trabajar con altas densidades de peces por metro cúbico sin bajar significativamente los parámetros productivos en el cultivo de tilapia nilótica.



### **c).INTRODUCCIÓN**

La Acuicultura tradicional requiere de grandes cantidades de agua y grandes extensiones de terreno. En muchas áreas de los países de Latinoamérica el agua es un recurso que escasea cada vez más por crecimiento poblacional, cambio climático, entre otras.. Según la FAO 2010, las principales cuestiones que deben abordarse en acuicultura son los problemas a la tecnología apropiada y recursos financieros junto con los impactos ambientales y las enfermedades.

La producción en sistemas de recirculación acuícola es una alternativa al cultivo de organismos acuáticos, por medio de la reutilización del agua previamente tratado de manera física ,química y biológica, se utiliza menos del 10% del agua requerida que en una producción convencional por estanque para producir rendimientos similares, por ello los sistemas de producción acuícola en sistemas de recirculación cuando son bien diseñados son un ambiente adecuado para promover el crecimiento de cultivos acuáticos, parámetros que incluyen concentraciones de oxígeno disuelto , nitrógeno amoniacal, nitritos, dióxido de carbono, temperatura, pH y los niveles de alcalinidad en el sistema , y presenta como una alternativa de solución para las cuestiones que deben abordarse en acuicultura, según la FAO como son los impactos ambientales, tecnología apropiada y el control de las enfermedades.

Por esta razón, hace más de tres décadas se han utilizado sistemas de recirculación acuícola (SRA) en la investigación (Timmos et al.,2002) y cerca de una década en la producción (Masser et al., 1998; Timmons et al.,2002). Actualmente los sistemas de recirculación se usan a nivel industrial principalmente para la producción de semillas de peces y moluscos marinos, la producción mundial de especies de aguas cálidas como tilapia, bagre africano y anguila, principalmente en los climas templados de América del Norte y Europa.



En Latinoamérica países como Chile viene implementando estos sistemas para el cultivo de moluscos a nivel comercial, así mismo algunas empresas en el Salvador vienen implementándolos.

Los sistemas cerrados con tratamiento y recirculación de agua son utilizados comúnmente en los laboratorios de investigación, en el cultivo y mantenimiento de peces ornamentales y en grandes acuarios públicos y privados en todo el mundo a partir de las décadas del ochenta los estudios sobre el uso de sistemas de recirculación se intensifican en el Japón, Estados Unidos, Israel y otros países europeos.

En el Perú, el interés por el cultivo de peces en sistemas cerrados es mucho más reciente, el uso de estos sistemas a escala comercial se encuentra aún restringido a algunos trabajos y estudios de peces ornamentales, laboratorios de reproducción de tilapia y algunas larviculturas de camarón, los sistemas pioneros que focalizaron la cría o engorde de la tilapia fueron implementadas hacia final de la década de los noventa (Losordo, T.M. 1997).

Los sistemas de recirculación en cultivos acuáticos demandan una considerable inversión y capital operacional. Así un cultivo puede ser enfocado sobre especies que muestren su buen valor comercial en el mercado y conducido de tal forma que se optimice el uso de las instalaciones y la producción. De esta forma es posible diluir importantes componentes del costo de un emprendimiento (salarios de los empleados en la operación y administración, depreciación y mantenimiento de las instalaciones y equipamiento, disminución de expensas fijas como la energía eléctrica), reduciendo los costos de producción y mejoramiento o retorno del capital invertido. (Timmons y J.J. Bisogni, 2006).

El agua no es un bien comercial, sino un patrimonio que hay que proteger, defender y tratar como tal (Directiva marco del agua, Directiva 2000/60/CE del parlamento Europeo y del consejo del 23 de Octubre del 2000). La escasez del agua y la intensificación de los cultivos, junto a otros factores resultan de importante relevancia para lograr la sustentabilidad de los sistemas, Es necesario

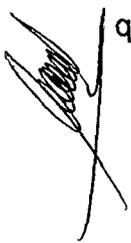


por tanto , optimizar el uso del agua a todos los niveles .Aunque la práctica de la acuicultura no es de los sectores primarios que más recursos hídricos utiliza ( estos datos siempre van encabezados por el uso del agua en la agricultura), si es cierto que se debe apostar por la utilización de sistemas que supongan un ahorro del agua para las instalaciones de Piscifactorías y una disminución del caudal de agua residual generado.

Los sistemas de recirculación en acuicultura (SRA), se basan en complejos diseños de ingeniería que están pensando para la depuración de las aguas y que son medianamente sostenibles, puesto que utilizan aproximadamente el 90. % menos de agua que otros sistemas convencionales, mediante una serie de tratamientos del agua de cultivo, se permite garantizar una buena calidad y que esta sea adecuada para el mantenimiento de los organismos acuáticos en sus diferentes estadios (reproducción, larvario, pre engorde y engorde), los componentes del sistema consisten, además de los tanques de cultivo de peces, en una unidad de tratamiento o filtros mecánicos ,biológicos, bombas y tuberías para el suministro y retorno del agua, siendo el corazón del sistema la unidad de tratamiento (Losordo, 2007).

Además de ser importante el tema del ahorro del agua en instalaciones acuícolas, también lo es abordar el tema de la reducción del volumen de vertidos que se generan. Desde el punto de vista la acuicultura afecta a los sistemas hídricos, por la cantidad de efluentes ricos en materia orgánica que se vierten además, por las variaciones que el efluente puede causar en parámetros que afectan la calidad del agua (oxígeno disuelto, sólidos totales en suspensión, DBO, cantidad de fosforo y nitrógeno etc.).

Los sistemas acuícolas de recirculación son ampliamente utilizados en la producción intensiva de peces , estos sistemas permiten superar algunas desventajas de los cultivos tradicionales, como por ejemplo; utilizan menos del 90% de agua y espacio, limitan las interacciones con el medio ambiente a través de la contención de los desechos generados durante el proceso acuícola ( químicos ,heces fecales y peces muertos entre otros ) y por su capacidad de



mantener aislada la producción, reducen la incidencia de enfermedades, pérdidas de especies, y competencia con la fauna local (Naylor et al., 2000; Timmons y Ebeling, 2007). También poseen algunas desventajas como su elevado costo, requieren de capacitación para su operación, corriente eléctrica, instalaciones, tecnología especializada y agua de buena calidad (Timmons et al., 2007). Los SRA permiten concentrar de 9 hasta 100 g/L de biomasa, lo que favorece el incremento de los niveles amonio-nitrógeno, producto del catabolismo de las proteínas contenidas en los alimentos, en este sentido el presente proyecto pretende diseñar y construir un sistema de recirculación cerrada artesanal de agua para el desarrollo de trabajos de investigación en el Laboratorio de Acuicultura de la Facultad de Ingeniería Pesquera y de alimentos de la Universidad Nacional del Callao.

### **Objetivos de la investigación:**

#### **Objetivo general**

-Determinar la eficiencia del sistema de recirculación artesanal en los parámetros de calidad de agua y parámetros de producción en los cultivos de tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* a diferentes densidades en laboratorio.

#### **Objetivos específicos:**

-Determinar los parámetros de calidad de agua como: oxígeno disuelto, pH, amonio, nitritos en los sistemas de recirculación cerrada en Laboratorio.

-Determinar los parámetros productivos como: coeficiente térmico de crecimiento, ganancia de peso de tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* por tratamientos en sistemas de recirculación en laboratorio.

-Determinar los parámetros de cultivo como: conversión alimentaria, factor de condición, Tasa de crecimiento absoluto TCA (g/día) y la tasa de crecimiento específico TCE (%/día) de tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* en sistemas de recirculación en laboratorio.



### **Justificación e importancia**

La importancia del desarrollo del proyecto se justifica por que tendrá un aporte tecnológico debido a que un sistema de recirculación mantiene un ambiente favorable de cultivo mientras provee un adecuado crecimiento y alimentación a bajo costo , proporcionando agua de buena calidad debido al constante recambio y rehuso del agua del sistema, . Los sistemas de recirculación utilizan menos del 50% del agua requerida por los sistemas de estanques tradicionales para obtener una producción similar., adicionalmente los sistemas de recirculación utilizan tanques para la producción acuícola y emplean un área mucho menor (Losordo et al., 2007), el uso de este tipo de tecnologías, en la medida que se establezcan patrones experimentales válidos y aplicados a las necesidades de los productores permitirá mejorar las condiciones requeridas en los sistemas de producción acuícola para el manejo adecuado de los peces, así mismo disminuirá el impacto ambiental negativo en los cuerpos de agua originada por las excretas de los peces y los residuos de comidas que contaminan los efluentes naturales.



## **d) MARCO TEÓRICO**

### **Recirculación**

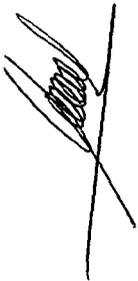
La recirculación puede ser definida como "cualquier sistema en donde el agua es usada hasta un punto en el que ya no es adecuada para los peces y necesita ser tratada antes de ser retornada a los mismos".

### **Principio de la Recirculación**

El sistema de recirculación es muy básico para su correcta funcionalidad, comprende del área en la que se encuentran los estanques con peces, luego el sistema de recirculación comprendido por tuberías y canales que llevarán el agua utilizada al sistema de tratamiento para después ser devueltas al suministro de agua que distribuye a los estanques con peces como se lo presenta y así continuamente por el periodo que se desee o por el tiempo en que el agua mantenga las condiciones óptimas para la explotación acuícola.

En el sistema de tratamiento comprenden varios procesos por los cuales el agua debe pasar. El corazón del sistema es la unidad de tratamiento de agua. A continuación se describen los siguientes procesos a llevar a cabo y además los compuestos que intervienen en los procesos:

- \* Eliminación de los sólidos de las heces y del pienso no consumido.
- \* Descomposición de los sólidos orgánicos disueltos.
- \* Conversión del amonio (tóxico) en nitratos (nitrificación).
- \* Eliminación del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).
- \* Adición de oxígeno ( $\text{O}_2$ ).



## **Sistemas de Recirculación de Agua**

En un sistema típico de recirculación, diariamente debe cambiarse una pequeña cantidad de agua, por nueva agua que ingresa al sistema, procediendo así al control de los nitratos (que se descartan), reemplazando el agua que se pierde por evaporación y lavado de los filtros. Las opciones para ello son numerosas y se ejercen por medio de procesos de naturaleza física, química y biológica.

### **Sistema Cerrado de Recirculación de Agua (SCRA)**

Este sistema consiste en que el agua pase por los estanques de peces, el agua se vuelve a utilizar eliminándose sólo una pequeña cantidad; por lo tanto la ventaja está clara: se consigue un ahorro de agua.

Los principales problemas de un sistema de recirculación cerrado son:

- Inversión inicial.
- Complejidad.
- Efectos crónicos subletales por exposición a amonio y dióxido de carbono.
- Mayor dificultad para obtener financiamiento.
- Filtración ineficiente.

### **Procesos del Sistema de Recirculación de Agua**

Los peces producen desechos que degradan la calidad del agua en la que se los cultiva. Los principales desechos que ejercen un efecto negativo sobre esta calidad son: amoníaco, anhídrido carbónico, materia fecal y otros provenientes del metabolismo de los animales, además de los desperdicios del alimento ofrecido. La materia orgánica (heces) también se degrada, produciendo una cantidad apreciable de amoníaco, nitritos y nitratos. En sistemas cerrados, sin recirculación, el efecto de estas sustancias hace disminuir el pH del agua, consume todo el



oxígeno disuelto existente, aumenta la turbidez y convierte al agua en un medio inhóspito para la vida de los peces. (Losordo, 2007).

### **Eliminación de sólidos (heces y pienso)**

Cuando se hace mención a la "clarificación primaria", el término se refiere a la remoción de sólidos, que puede cumplirse mediante uno o varios procesos (colocación de filtros, sedimentación o filtración granular media). Es importante retirar los sólidos suspendidos, antes de proceder al filtrado biológico, que actúa como "corazón" del sistema (Segovia, 2010).

### **Eliminación de amonio**

El Oxígeno disuelto, Temperatura, NAT (Nitrógeno Amoniacal Total), Nitritos, Nitratos, pH, CO<sub>2</sub>, Dureza, Alcalinidad, Relación Carbono/Nitrógeno y Salinidad son factores que actúan uno en correlación con el otro por lo que cualquier cambio que se realice en uno variará el resultado de los demás (Parada, 2007).

Para eliminación de Amonio hay que tomar en cuenta primero la cantidad de sólidos que deja pasar el filtro de sólidos, ya que siempre existen sólidos suspendidos en el agua. Este va a ser el primer factor con el que se va a trabajar, ya que es relativo el contenido amoniacal con el contenido de sólidos, al igual que disminuye el pH. El Amoniaco (NH<sub>3</sub>) es la forma más tóxica en la que se manifiesta el Nitrógeno y en los peces se puede producir metahemoglobulina (Segovia 2010)

La utilización de biofiltros de nitrificación para eliminar el Amoniaco se justifica en el hecho que los peces toleran cientos de veces más NO<sub>3</sub> que NO<sub>2</sub> , y decenas de miles de veces más que NH<sub>3</sub> . Por esta razón, la conversión del NAT a NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, detoxifica el agua, y ésta puede retenerse en el sistema hasta acumular mayores niveles del Nitrógeno excretado (Parada, 2007).



### **Biofiltro.**

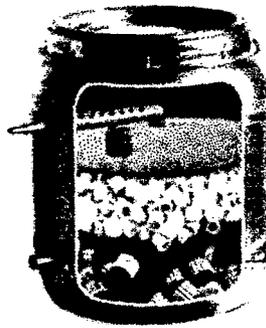
Cumple la función de oxidar el amonio de alta toxicidad a  $\text{NO}_3$  de muy baja toxicidad, mediante la acción de bacterias. Algunas de las condiciones necesarias para obtener un buen funcionamiento del biofiltro es:

- Proporcionar suficiente superficie para colonizar.
- Asegurar que el agua a tratar se distribuye homogéneamente en el relleno y no se generan canalizaciones.
- Seleccionar un buen sistema para la eliminación de sólidos suspendidos antes de pasar el agua por el biofiltro.
- Asegurar que no existan limitantes ambientales/nutricionales para el desarrollo de las bacterias nitrificantes.
- Eliminar los sólidos suspendidos y el alimento no ingerido lo más tempranamente posible minimizando la lixiviación de nutrientes orgánicos disueltos.
- Seleccionar un buen alimento, balanceado y que genere heces firmes.

### **Biofiltro de película descendente**

Consiste en un compartimiento empacado con un relleno de soporte que puede ser plástico, cerámico, o simplemente piedras. El agua a tratar se distribuye en la superficie superior del relleno. El agua cae por gravedad generando una película sobre el material de relleno en el cual crecerán las bacterias. El sistema no es inundado lo cual permite realizar en forma simultánea intercambio de gases con el aire (Parada 2007).





**Fig. 1 Biofiltro de película descendente**  
FUENTE: SERA CIA. Ltda

### **Desgasificación**

La desgasificación es un proceso muy complejo ya que existen muchos factores importantes y como ya aclaramos antes todos estos se encuentran relacionados entre sí, en esta etapa de la recirculación lo más importante es controlar la cantidad de Dióxido de Carbono (gas) presente en el agua.

El método más eficiente utilizado para eliminar este gas es la aireación ya sea por remolinos, cascadas, etc. (Segovia, 2010).

Este gas es el causante de la acumulación de carbono en el medio por lo que al estar en presencia del Oxígeno va a formar Acido Carbónico ( $H_2CO_3$ ), esto va a afectar la alcalinidad del agua y por ende el pH bajará. Aquí la importancia de eliminar gases y evitar que el pH disminuya, y la amortiguación del agua se mantenga en equilibrio.

### **Aporte de oxígeno**

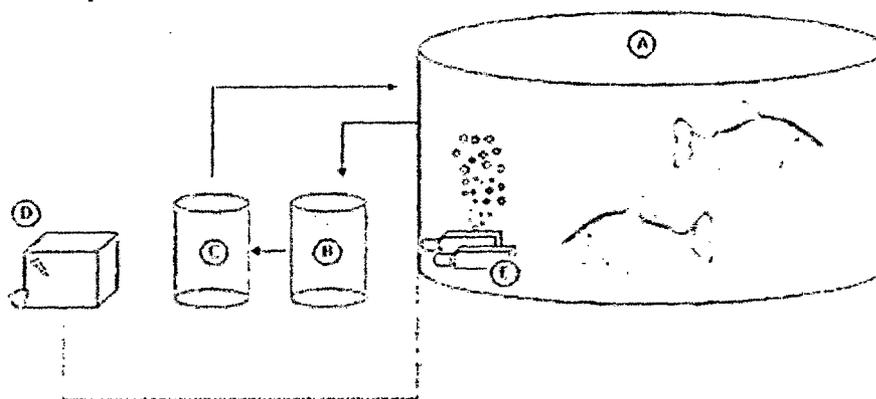
La disponibilidad de oxígeno influye directamente en el desarrollo de los peces. Su control es una de las claves del éxito de la acuicultura. El oxígeno permite aumentar el rendimiento de producción. (Parada 2007). Para cubrir las necesidades fisiológicas básicas (mantenimiento, movimiento) y para garantizar su crecimiento, el pez utiliza la energía obtenida por la oxidación de los alimentos (gracias al oxígeno disuelto en el agua). La disponibilidad de oxígeno permite:

- Aprovechar mejor los alimentos (mejor índice de transformación).
- Mejorar el crecimiento de los peces y aumentar la resistencia ante los agentes patógenos (Parada, 2007).

### Partes de un sistema de recirculación de sistemas de recirculación

Los SAR son sistemas de producción (crecimiento o engorda) intensiva, desarrollados a lo largo de los últimos 30 años, donde se mantiene el mismo volumen de agua en constante circulación para metabolizar los desechos a través de sistemas de filtración, lo que les da la característica de ser sistemas semicerrados, ya que no poseen interacciones significativas con el ambiente (Losordo *et al.*, 1998; Piedrahita, 2003; Timmons *et al.*, 2007). Las entradas del sistema son los peces, el alimento y agua de reposición por evaporación. Las salidas son las heces fecales y los peces muertos (en su caso). Los SAR tienen una capacidad de carga máxima (kg L<sup>-1</sup>) dada por las características de sus componentes (Piedrahita, 2003). Existen diversos diseños de SAR, principalmente horizontales (figura 2) y en menor medida verticales (figura 3). Los componentes básicos (conectados entre sí por el sistema hidráulico) se describen a continuación (Chen *et al.*, 1993; Losordo, 1997; Lazur y Deborah, 1997; Losordo *et al.*, 1998; Losordo, 1998; Masser *et al.*, 1999; ; Hernández *et al.*, 2009):

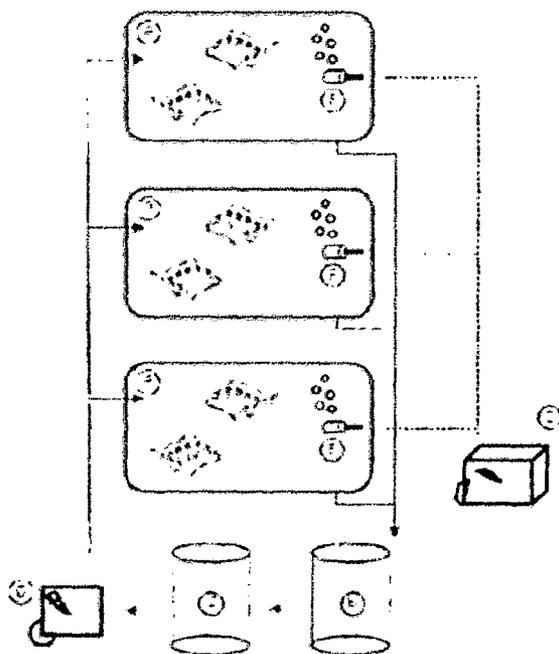
**Figura 2. Componentes básicos de un SAR horizontal. A) Estanque B) Filtro mecánico C) Filtro Biológico D) Bomba de aire y E) Difusores de aire. Las flechas indican el flujo del agua entre los componentes del sistema**



Fuente :SOCIEDADES RURALES, PRODUCCIÓN Y MEDIO AMBIENTE AÑO 2012 VOL.12 NÚM 24  
 SOCIEDADES RURALES, PRODUCCIÓN Y MEDIO AMBIENTE AÑO 2012 VOL.12 NÚM 24



**Figura 3. Componentes básicos de un SAR vertical. A) Estanque B) Filtro mecánico C) Filtro Biológico D) Bomba de agua E) Bomba de aire F) Difusores de aire. Las flechas indican el flujo del agua entre los componentes del sistema (Original)**



Fuente :SOCIEDADES RURALES, PRODUCCIÓN Y MEDIO AMBIENTE AÑO 2012 VOL.12 NÚM 24SOCIEDADES RURALES, PRODUCCIÓN Y MEDIO AMBIENTE AÑO 2012 VOL.12 NÚM 24

a) Estanque. Pueden variar considerablemente en tamaño y forma, siendo los más recomendables los circulares, ya que se facilita la extracción de desechos; se promueve que los peces se mantengan en constante movimiento, lo cual conduce, por un lado, a una mejor asimilación del alimento, y por otro, disminuye la agresión entre ellos; b) Filtro mecánico. Su función es la remoción de los sólidos de mayor tamaño antes de que inicie su disolución y liberación en el agua; c) Filtro biológico. Su función es la de metabolizar las sustancias nitrogenadas tóxicas generadas por los peces. Tiene soportes que son colonizados por bacterias nitrificantes que oxidan el  $\text{NH}_3$  en  $\text{NO}_2$  para finalmente oxidarlo en  $\text{NO}_3$ ; d) Filtro químico. Su función es filtrar las partículas más pequeñas, así como eliminar el color y olor del agua; e)

Aireadores o generadores de oxígeno. El oxígeno es el principal limitante de la capacidad de carga en los SAR, ya que es utilizado, tanto por los peces como por las bacterias nitrificantes. Los aireadores ingresan el oxígeno al sistema por intercambio atmosférico y en ocasiones, cuando se trabaja con altas densidades se requiere suministrar oxígeno líquido.

Los SAR requieren, bajo condiciones controladas, menos del 90 y hasta el 99% del agua y del espacio que utilizan los sistemas de cultivo tradicionales, y sólo necesitan la reposición diaria de 2% del volumen total de agua en labores de limpieza y/o por evaporación (Timmons y Ebeling, 2007; Flimlin *et al.*, 2008), con lo que es factible la instalación de unidades productivas en sitios urbanos e independientes de las condiciones climáticas, lo cual permite producir a lo largo de todo el año (Timmons, 2005).

Debido a su condición de sistemas semicerrados, es posible utilizar compuestos químicos como promotores de crecimiento y medicamentos; y lo más importante, es posible dar un tratamiento al agua antes de desecharla o incluso reutilizarla; siendo esto uno de los mayores retos a trabajar. Además, en estos sistemas se impide la fuga de organismos, evitando que colonicen cuerpos de agua aledaños (Timmons y Ebeling, 2007).

Por lo tanto, en los SAR la tasa de crecimiento de los peces es mayor que en los sistemas tradicionales debido a la mejora en las condiciones de calidad de agua, disponibilidad de alimento y la reducción de pérdidas energéticas durante la búsqueda de este último (Lasur y Britt, 1997; Schuster y Stelz, 1998).

Por otro lado, los SAR permiten conocer el número exacto, proporción sexual y estadio de desarrollo de los peces, con lo que se calcula la biomasa exacta a lo largo del ciclo productivo permitiendo racionar el alimento y evitar que se reproduzcan de manera descontrolada, evitando la pérdida de potencial genético.



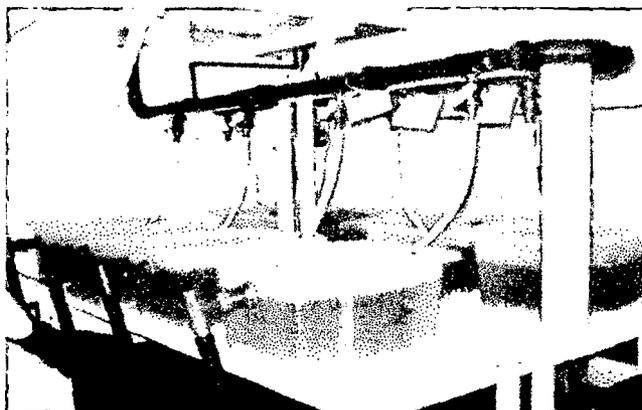
Además, se facilita la detección oportuna de signos de enfermedad (Timmons y Losordo, 1994).

Adicionalmente, los SAR son compatibles con tecnologías amigables con el ambiente. Es posible implementar el cultivo de vegetales comestibles u ornamentales utilizando el agua que contienen los compuestos generados por los peces y que son necesarios para el desarrollo de las plantas ( $\text{NO}_3$  , principalmente). La estrategia es implementar una plataforma como una etapa de filtrado biológico final (Rakocy *et al.*, 1996). Por otro lado, en los SAR se puede utilizar agua de lluvia y energía generada en paneles solares o hélices eólicas (White *et al.*, 2004).

#### **Modelos de los sistemas de recirculación en acuicultura**

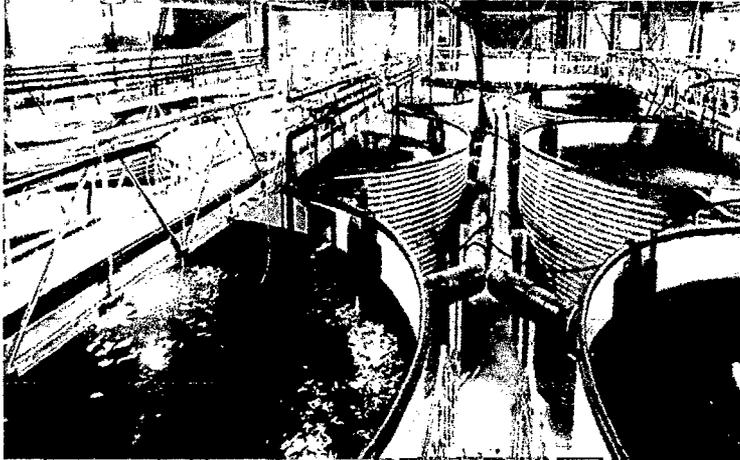
Existen muchos tipos de sistemas de recirculación en acuicultura desde los más sencillos hasta lo más complejos tal como se puede apreciar en los siguientes figuras

**Fig. 4 sistemas de recirculación prácticos no industriales**



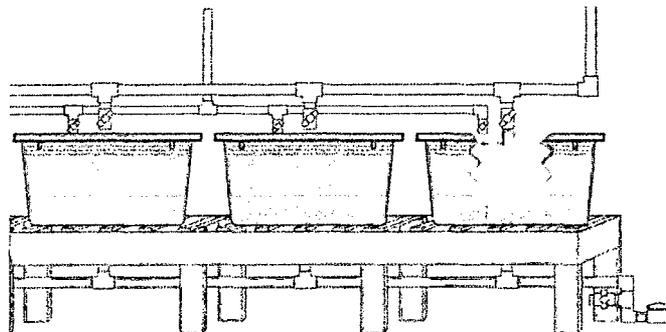
Fuente: White *et al.*, 2004

**Fig. 5 Sistemas de recirculación sofisticados industrializados**



Fuente: <http://www.akvagroup.com/productos/acuicultura-en-tierra/sistemas-de-recirculación>

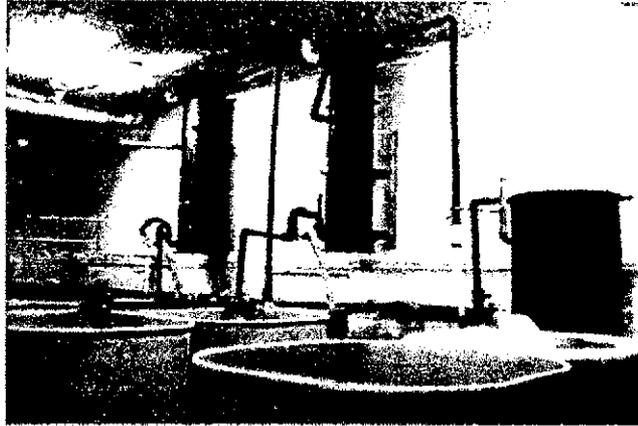
**Fig.6 sistemas de recirculación de sencilla construcción**



Fuente: White *et al.*, 2004

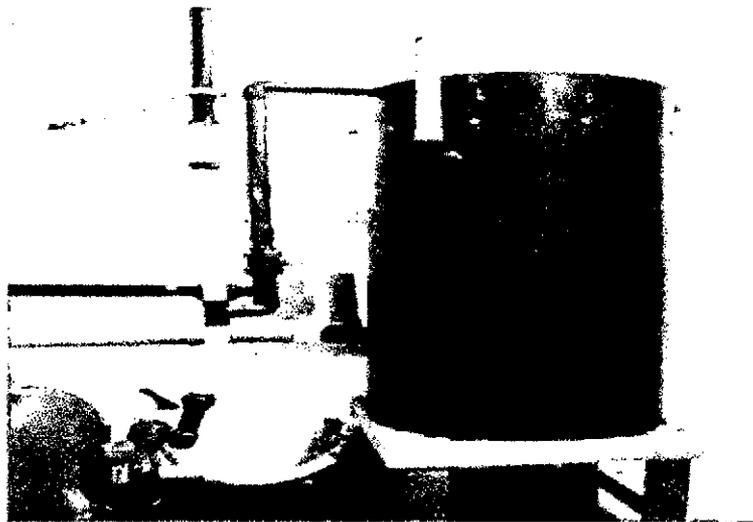


**Fig. 7 sistemas de recirculación**



Fuente: ATR Venture Private Limited. 2007 Aquafarming, Future Technology in Aquaculture <<http://www.aquaculturetech.com>>\*

**Fig. 8 sistemas de recirculación**



Fuente: Aquafarming, Future Technology in Aquaculture <<http://www.aquaculturetech.com>>\*

**Fig. 9 sistemas de recirculación cerrados en acuicultura**



Fuente: *Aquafarming, Future Technology in Aquaculture*  
<<http://www.aquaculturetech.com>>\*

**Fig. 10 Sistemas de recirculación en acuarios**



Fuente : Facultad de Pesquería UNALM LIMA

**Fig. 11 Sistemas de recirculación cerrada en tanques cuadrados**



Fuente: ATR Venture Private Limited. 2007 *Aquafarming, Future Technology in Aquaculture* <<http://www.aquaculturetech.com>>\*

Después de la reversión sexual, los alevines generalmente se cuidan a un tamaño avanzado antes de que se almacenan en instalaciones de engorda. Este procedimiento aumenta la supervivencia en la fase de engorde y utiliza cada vez más el espacio de manera más eficiente. Alevines de sexo revertido se almacenan en aproximadamente 20 a 25 peces / m<sup>2</sup> en pequeños estanques y se cultivan durante 2-3 meses hasta un tamaño medio de 30 a 40 g. Los estanques deben llenarse inmediatamente antes de la siembra para evitar la acumulación de insectos acuáticos depredadores. Biomasa final en la cosecha no debe exceder de 6.000 kg / ha. En los estanques, los alevines se les da alimento extruido (30 por ciento de proteína) a una tasa inicial de 8-15 por ciento de biomasa por día, que se disminuyó gradualmente a una tasa final de 4-9 por ciento por día. Una serie de jaulas pequeñas (<4 m<sup>3</sup>) con el aumento de tamaño de la malla se puede utilizar para alevines almacenados en una proporción de 3 000 peces / m<sup>3</sup> y se cultivaron durante 6 semanas hasta que un promedio de 10 g. Peces de este tamaño puede reponer a las 2 500 peces / m<sup>3</sup> para producir alevines de 25-30 g en 4 semanas. Estos peces pueden ser almacenados en 1 500 peces / m<sup>3</sup> para producir alevines de 50-60 g en 4 semanas. Un sistema de recirculación surtida en

1 000 peces / m<sup>3</sup> producirá alevines de 50 g en 12 semanas. Los alevines deben ser alimentados con 3-4 veces al día.(Segovia,2010).

En Tailandia, la tilapia se almacenan en 3 peces / m<sup>2</sup> y se cultivaron hasta 100-150 g en unos 3 meses con solo el fertilizante, y luego se da la alimentación suplementaria en el 50 por ciento de saciedad hasta que el pez llegue a 500 g , lo que equivale a un rendimiento anual neto de 21 toneladas / ha. En Honduras, con un rendimiento de 4,3 toneladas / ha se pueden obtener con la aplicación semanal de 500 kg MS / ha de estiércol de pollo y la aplicación de alimentación de 1,5 por ciento de la biomasa de peces durante 6 días a la semana. Sin embargo, este régimen de manejo es menos rentable que el uso de gallinaza y úrea. Muchas granjas semi-intensivas dependen casi exclusivamente de alimentos de alta calidad para cultivar tilapia en estanques. Tilapia macho se siembran a 1-3 peces / m<sup>2</sup> y se cultivaron hasta 400-500 g en 5-8 meses, dependiendo de la temperatura del agua. Rendimientos normales van de 6-8 toneladas / ha / cosecha pero los rendimientos de hasta 10 toneladas / ha / cosecha se reportan en el noreste de Brasil, donde el clima y la calidad del agua son ideales. El oxígeno disuelto se mantiene mediante el intercambio de 5-15 por ciento del volumen del estanque diaria. Los mayores rendimientos de peces de gran tamaño (600-900 g) se obtienen en otras regiones mediante el uso de alta calidad de la alimentación (hasta el 35 por ciento de proteína), múltiples fases de engorda (replacación en densidades más bajas hasta tres veces), el tipo de cambio alto de agua ( hasta 150 por ciento del volumen diario estanque) y aireación continua (hasta 20 HP / ha). Peces producidos a través de estos métodos son generalmente caros fileteado y se vende en los mercados de exportación. El cultivo de tilapia del Nilo a altas densidades en jaulas flotantes se practica en grandes lagos y embalses de varios países, entre ellos China, Indonesia, México, Honduras, Colombia y Brasil. Tamaño de malla tiene un impacto significativo en la producción y debe ser 1,9 cm o más para mantener la libre circulación de agua. El cultivo en jaulas ofrece varias ventajas importantes. El ciclo de reproducción de la tilapia se interrumpe en las jaulas, y por lo tanto las poblaciones de ambos sexos pueden criarse en jaulas sin los problemas de reclutamiento y retraso del crecimiento. Los huevos caen a



través del fondo de la jaula o no se desarrollan si están fertilizados. Las Jaulas varían ampliamente en materiales de tamaño y de construcción. En Brasil, los volúmenes de jaula y densidades de siembra varían de  $4 \text{ m}^3$  / jaulas surtidas a 200-300 peces /  $\text{m}^3$  de jaulas de  $100 \text{ m}^3$  o mayor surtido en 25-50 peces /  $\text{m}^3$ . Los rendimientos varían de  $50 \text{ kg} / \text{m}^3$  en  $100 / \text{m}^3$ , jaulas a  $150 \text{ kg} / \text{m}^3$  en  $4 \text{ m}^3$  de jaulas. En Colombia, las jaulas van desde 2,7 hasta  $45 \text{ m}^3$  en volumen y están equipados con alevines masculinos de 20 g y levantaron a 150-300 g en 6-8 meses. Los peces son alimentados con alimento extruido y con proteína cruda de 24-34 por ciento. Las infecciones estreptocócicas son un problema, y los promedios de supervivencia son de 65 por ciento. Los rendimientos anuales a densidades finales de 160 a 350 peces /  $\text{m}^3$  son 76 a  $116 \text{ kg} / \text{m}^3$ . Las Tilapias se cultivan en tanques y canales de diferentes tamaños ( $10$ - $1000 \text{ m}^3$ ) y formas (circulares, rectangulares, cuadradas y ovaladas). Una característica importante del diseño del tanque es la eliminación eficaz de los residuos sólidos; un tanque circular con un desagüe central es el diseño más eficiente. El Intercambio del agua oscila entre  $<0,5$  por ciento del volumen del tanque por día en tanques a 180 intercambios por día. Tanques de bajo cambio se basan en la nitrificación en la columna de agua para eliminar los residuos del tanque. Un tipo de cultivo en tanques, conocido como un sistema combinado extensa-intensivo (CEI), o sistema Dekel, recicla el agua entre los tanques de cultivo y grandes estanques reservorios de tierra, que sirven como filtros biológicos para mantener la calidad del agua. La relación volumétrica entre los rangos de tanque de cultivo y estanque depósito de 1:10 a 1: 118 o más. La aireación se emplea para aumentar la producción en tanques porque el oxígeno disuelto es por lo general el factor limitante de calidad del agua. La densidad máxima de tilapia en los tanques oscila desde 160 hasta  $185 \text{ kg} / \text{m}^3$ , y rangos máximos de carga desde 1,2 hasta  $1,5 \text{ kg} / \text{litro} / \text{min}$ . A nivel de producción común en los tanques es de  $10 \text{ kg} / \text{m}^3 / \text{mes}$ , como el suministro de agua son a menudo insuficientes para alcanzar velocidades máximas. Los niveles de producción son mucho más bajos en tanques con recambio de agua limitado, pero la eficiencia del uso del agua es mucho mayor en estos sistemas. *Sistemas de*

*recirculación*. En regiones templadas, los sistemas de recirculación se han desarrollado para el cultivo de tilapia durante todo el año en condiciones controladas. Aunque los elementos de diseño de sistemas de recirculación varían mucho, los principales componentes de los sistemas de recirculación consisten en tanques de cría de peces, un dispositivo de eliminación de sólidos, un biofiltro, un generador aireador u oxígeno y una unidad de desgasificación. En algunos sistemas se aplican procesos de tratamientos adicionales, tales como la ozonización, desnitrificación y fraccionamiento de espuma. Tanques de cría son generalmente circular para facilitar la eliminación de sólidos, aunque los tanques octogonales y los tanques cuadrados con esquinas redondeadas proporcionan una alternativa adecuada con un mejor aprovechamiento del espacio. Filtros de tambor se utilizan ampliamente para la eliminación de sólidos aunque otros dispositivos (filtros de cuentas, colonos del tubo) se utilizan a menudo. Los métodos utilizados para la eliminación de amoníaco consisten en un filtro de lecho móvil inundada, filtro percolador, filtro de arena fluidizado o rotación contactor biológico. En los sistemas oxigenados, se proporciona una etapa para la aireación vigorosa para ventilar el dióxido de carbono en el medio ambiente. Alzar los tiempos de retención del tanque son relativamente cortos (por ejemplo, una hora) para eliminar los metabolitos de desecho para el tratamiento y regresar agua de alta calidad. La mayoría de los sistemas de recirculación están diseñados para sustituir de 5 a 10 por ciento del volumen del sistema cada día con agua nueva. Esta cantidad de cambio impide la acumulación de nitratos y materia orgánica soluble que eventualmente pueden causar problemas. Los niveles de producción en los sistemas de recirculación varían de 60 a 120 kg / m<sup>3</sup> de volumen del tanque, o más. Sin embargo, el cultivo final no es el mejor indicador de la eficiencia del sistema; la entrada máxima de alimentación diaria para un sistema es un mejor indicador de la productividad y la eficiencia alimentaria

Gullian-Klanian, et al., (2013) llevaron a cabo un estudio con el objetivo de evaluar el rendimiento de juveniles de tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* sembrados en densidades hiperintensivas en un sistema de recirculación acuícola (SRA) con

mínimo remplazo de agua. El sistema experimental consistió en un sistema de precría de cosecha única para obtener peces de 50 g en 60 días. Los peces ( $2,07 \pm 0,14$  g) se sembraron por triplicado a densidades de 400 (T1), 500 (T2) y 600 (T3) peces  $m^{-3}$  (0,84; 1,05; 1,22  $kg\ m^{-3}$ ). El SRA funcionó con 12.000 L de agua recirculante y un remplazo diario de 252 L (2,1% por día). La densidad de siembra no afectó significativamente la supervivencia (89,5-93,6%). El biofiltro removió el amonio nitrogenado total con una eficiencia del  $46,9 \pm 7,0\%$ . La tasa de crecimiento de T1 ( $0,96\ g\ día^{-1}$ ;  $5,01\%\ día^{-1}$ ) y T2 ( $0,92\ g\ día^{-1}$ ;  $4,95\%\ día^{-1}$ ) fue significativamente mayor que T3 ( $0,83\ g\ día^{-1}$ ;  $4,80\%\ día^{-1}$ ). La temperatura influyó 41% en la tasa de crecimiento específico (TCE) de T1. La concentración de oxígeno disuelto (DO) influyó en la variación de peso en T2 (47%) y T3 (44%). La TCE de T3 también se vio afectada por la concentración de nitrógeno amoniacal (31%). El aumento de la densidad de siembra afectó el tamaño y la homogeneidad de tallas de los peces, pero no afectó la relación longitud-peso (L-P). Los datos respaldan la conclusión que los juveniles sembrados a densidades de 400 y 500 peces  $m^{-3}$  tienen alto rendimiento durante nueve semanas consecutivas, siempre y cuando la biomasa no se exceda de  $37\ kg\ m^{-3}$ . En este tiempo los peces alcanzan el peso final esperado de precría (50 g) y pueden ser transferidos hacia las instalaciones de engorde.



**Tabla 1** Media recomendada y tasas de alimentación para diferentes tamaños y grupos de tilapia en tanques y tasas estimadas de crecimiento.

Cantidad de peces (número/m <sup>3</sup> ) (%)	Peso (gramos)		Tasa de crecimiento	Periodo de crecimiento	Tasa de alimentación
	Initial	Final	(g/día)	(días)	de peso
corporal					
8,000	0.02	0.5-1	-	30	20 - 15
3,200	0.5-1	5	-	30	15 - 10
1,600	5	20	0.5	30	10 - 7
1,000	20	50	1.0	30	7 - 4
500	50	100	1.5	30	4 - 3.5
200	100	250	2.5	50	3.5 - 1.5
100	250	450	3.0	70	1.5 - 1.0

Fuente :<http://criadetilapiaentanques.blogspot.com/>

Díaz Barboza, *et al.*, (2012) llevaron a cabo un estudio de cultivo de tilapia para lo cual adquirieron 4 millares de alevinos de 0.87 g de peso promedio, aclimatadas y sembradas a una densidad de 160 alevinos/m<sup>3</sup> (estanque de pre-cría) por un periodo de 40 días. Después pasaron al estanque de engorde a una densidad de 12 juveniles/m<sup>3</sup> hasta finalizar el periodo de cultivo. La alimentación estuvo basada en alimento artificial (Purtilapia) y natural mediante la fertilización con estiércol de ganado vacuno a razón de 1 kg/m<sup>3</sup>. Durante los 11 meses de cultivo semi-intensivo de *Oreochromis niloticus* se obtuvieron valores de peso de 0.87 a 320.41g y una longitud de 3.13 a 27.36 cm. En cuanto al factor de conversión alimenticia final fue 1.65:1. La tasa de crecimiento fue de 29.05 g/mes.

La supervivencia final fue del 70%. Los valores promedio de temperatura del agua oscilaron en un rango de 20.8 a 24.5 °C, el oxígeno disuelto varió de 4,5 a 6 mg/l, y el pH se mantuvo alrededor de 7.

Gaspar R. Poot-López, et al.,(2012) utilizaron un sistema de recirculación semiabierto que incluía 15 tanques auto-limpiables de fibra de vidrio de 0,75 m<sup>3</sup> de capacidad, además de un tanque de sedimentación, aireación complementaria y recambios diarios del 25% del agua de los tanques. Para la alimentación de los peces se suministró alimento balanceado comercial para engorde de tilapia (30% de proteína), de la marca Agribrands, de acuerdo a la tabla de alimentación recomendada (Tabla 1), dividida en cuatro porciones diarias. Para el estudio se usaron hojas refrigeradas de chaya, cosechadas semanalmente en la comunidad de Santa Elena, Yucatán, se empaquetaron en bolsas de polietileno y se almacenaron bajo refrigeración a una temperatura de 10°C, hasta el momento en que se suministró a las tilapias.

En cada experimento se utilizaron machos revertidos y provenientes de una misma camada, proporcionados por el laboratorio de acuicultura del CINVESTAV, Mérida. El primer experimento (Exp I) se realizó de octubre de 2001 a marzo del 2002 (época fría); en que se usaron 243 juveniles de tilapia con peso promedio inicial de  $8,71 \pm 0,03$  g, a una densidad de 36 peces m<sup>-3</sup>. Obteniendo ganancias de peso de 96.77 g y conversiones alimentarias de 1.2, 1.69 y 1,78

Vega-Villasante, et al., (2010), utilizaron 9 piscinas circulares (Intex ®) de lona plastificada con estructura metálica (3 piscinas por tratamiento); con una capacidad de 18,000 litros. El agua de cultivo fue obtenida del sistema municipal, previamente reposada (7 días) para eliminar el exceso de cloro y fue ajustada a un metro de profundidad. El agua perdida por evaporación fue restituida con agua corriente. El fotoperiodo fue el natural registrado para la zona del Pacífico en Bahía de Banderas durante el transcurso del verano (14 horas. luz, 10 horas. oscuridad). No se llevó a cabo control de temperatura; sin embargo, durante el bioensayo se llevó registro periódico de los parámetros físico-químicos del agua.



Se suministró aireación suplementaria con un aireador eléctrico de 1.5 HP (Pioneer ®), con un recambio de agua semanal de máximo 10%. No se llevó a cabo fertilización artificial del agua del cultivo.

Los organismos de *Oreochromis aureus* se obtuvieron por donación en el Centro Acuícola de San Cayetano, Nayarit, México. La población experimentada fue heterogénea en talla y registró un peso promedio de 53.90 g, no fueron sometidos a reversión sexual con alimento hormonado y se trabajó con una proporción de sexos cercana al 50-50%. Los peces fueron transportados hasta el CUCOSTA en un contenedor de 600 L a 25 °C, con aireación constante. Para su aclimatación fueron transferidos a una piscina circular 18m<sup>3</sup>, de lona plástica con aireación constante y mantenidos por un periodo de tres días. Los organismos fueron separados en tres grupos diferentes con tres réplicas cada uno para probar los tres tratamientos establecidos (un grupo por piscina) y evaluar el efecto de la frecuencia de alimentación: grupo A con peso promedio de 59.24 g ± 16.02, frecuencia de una alimentación al día (11:00 hrs), grupo B con peso promedio de 52.67 g ± 16.22, frecuencias de 6 alimentaciones iniciales (7:00, 11:00., 13:00, 15:00, 16:00 y 18:00 hrs) y cuatro finales (9:00, 11:00, 13:00 y 15:00 hrs); y grupo C con peso promedio de 49.80 g ± 12.21, frecuencias de siete alimentaciones iniciales (7:00, 11:00, 13:00, 15:00, 16:00, 17:00 y 18:00 hrs) y cinco finales (9:00, 11:00, 13:00, 15:00 y 16:00 hrs). La ración de alimento y sus variaciones en el transcurso de los cultivos se determinaron con base en la biomasa de los organismos, se estableció el 5% de la misma como ración inicial. Posteriormente se redujo el porcentaje hasta un 3% de la biomasa de acuerdo con los ajustes de la ración alimenticia calculados con base en los datos arrojados por las biometrías y variando la frecuencia de alimentación de acuerdo con el Programa Purina para alimentación de especies acuáticas (Agribrands, 2001). En el cual se establecen las frecuencias de alimentación con relación al peso del pez. Se estableció una densidad de siembra de 3.7 organismos/m<sup>3</sup>, Se utilizó alimento comercial (Purina®) con 35 % de proteína, 8 % de grasa, 4 % de fibra cruda, 12 % de humedad, 10 % de cenizas, 0.60 % de calcio, 1 % de fósforo y 31 % de E.L.N. Se realizaron cuatro biometrías; dos de las poblaciones totales al inicio y final de los

cultivos y dos intermedias (días 15 y 29). La duración de los cultivos experimentales fue de 40 días. Obteniendo los siguientes resultados:  $2.17a \pm 0.25$ ;  $2.58a \pm 0.90$ ;  $2.61 \pm 0.14$  de tasas de crecimiento específico TCE %/día.  $2.93 \pm 0.85$ ;  $2.81 \pm 0.75$ ;  $2.85 \pm 0.68$  de ganancia de peso diario y  $1.56 \pm 0.10$ ;  $1.56 \pm 0.10$ ;  $1.41 \pm 0.42$ ; y  $1.33 \pm 0.06$  como conversión alimentaria respectivamente

Poot-Delgado, et al., (2010) presentan los valores de crecimiento de las tres dietas comerciales, con un peso inicial de 1.15g, en 91 días de cultivo, en donde se observa que la dieta C (Campi® con un contenido proteico de 40%) registró un peso final de 58.08g, y una ganancia en peso diario de 0.4241g, moderadamente por arriba de la dieta A (Purina®), quien registra un peso final de 57.95g, con una ganancia diaria en peso de 0.5241g, en tanto que la dieta presenta el menor peso final registrado (56.84g),



## e). MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio de investigación se realizó en el Laboratorio de Acuicultura de la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos, de la Universidad Nacional del Callao (UNAC).

### Metodología

#### Diseño experimental y tratamientos

Se trabajó con un diseño completamente al azar, conformado por 2 tratamientos y 3 repeticiones por tratamiento haciendo un total de 6 unidades experimentales acondicionadas cada una de ellas con sistemas de recirculación (Figura 3), se colocó 30 peces en cada unidad, según el siguiente diseño experimental:

Diseño experimental puro con pre prueba, post prueba y grupo control (Hernández *et al.*, 2006):

R G<sub>1</sub>    O<sub>1</sub>—X<sub>1</sub>—O<sub>2</sub>

R G<sub>2</sub>    O<sub>3</sub>—X<sub>2</sub>—O<sub>4</sub>

R                = grupos escogidos aleatoriamente

G                = Grupos (4 grupos)

O<sub>1</sub>, O<sub>3</sub>, =        medición previa para cada grupo

X<sub>1</sub>                = aplicación de tratamiento 1

X<sub>2</sub>                = aplicación de tratamiento 2

O<sub>2</sub>, O<sub>4</sub>,         = medición final (Post pruebas)



### Modelo Estadístico

$$Y_{ij} = \mu + T_j + e_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = respuesta de la  $i$ -ésima unidad experimental que recibe  $j$ -ésimo tratamiento.

$\mu$  = media

$T_j$  = efecto del  $j$ -ésimo tratamiento.

$J$  = tratamiento 1, 2,

$I$  = réplicas

$E_{ij}$  = error experimental asociado a la  $i$ -ésima unidad experimental sometida el  $j$ -ésimo tratamiento

**Tabla 2: Fórmula experimental**

Tratamientos	Repetición-1	Repetición 2	Repetición 3
	R-1	R-2	R-3
T-1	N = 30	N = 30	N = 30
T-2	N = 30	N = 30	N = 30

Fuente: propia

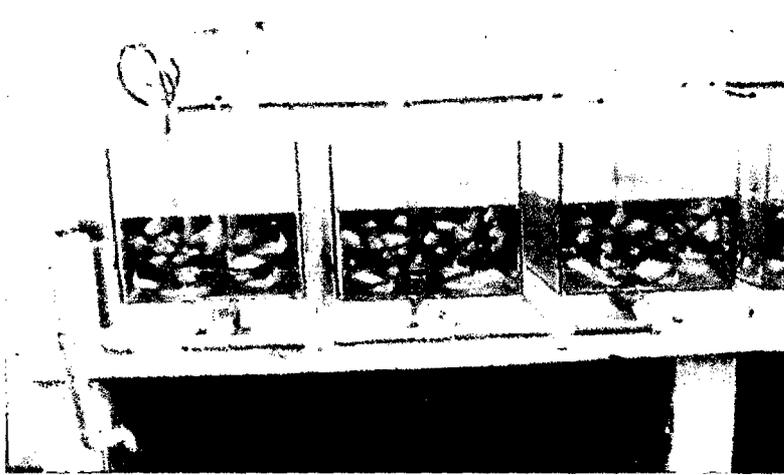
T-1 = unidad experimental con 40 peces

T-2 = unidad experimental con 30 peces

R = réplicas

N = número de ejemplares (30)/ unidad experimental

**Figura 12: sistemas de recirculación usados en el estudio**



Fuente : Propia

### **Cultivo y alimentación**

El trabajo experimental se inició el estudio con los alevines de tilapia nilotica *Oreochromis niloticus*. con talla promedio de  $2,19 \pm 0,11$  cm y peso promedio de  $0,20 \pm 0,01$  g, los peces fueron distribuidos en 06 unidades experimentales (acuarios de vidrio de 100 L) con un volumen de agua de 80 litros y 40 peces/acuario para el tratamiento T1 y 30 peces /acuario para el tratamiento T2 (control) durante el experimento se monitorearon los parámetros físico-químicos del agua para mantener la temperatura entre 23 a 24 °C , el oxígeno disuelto entre 7,5 a 7,7 mg/L, el amoníaco entre 0,1 – 0,2 mg/L, los nitritos entre 0,2 – 0,3 mg/L y el pH entre 6,5 a 7.5. La limpieza del acuario se realizó diariamente y se hizo sifoneando las heces y residuos de alimento no consumido, se adicionaba 10% de agua para reemplazar lo perdido por el sifoneo. Se alimentó diariamente a los peces con una tasa alimentaria del 20% (al inicio), ésta tasa fue disminuyéndose

en porcentaje al aumentar de peso los peces o biomasa por acuario, la frecuencia de alimentación fue de 4 veces por día (8:00; 11:00; 14:00 y 16:00 horas).

Cada 15 días se efectuó un muestreo biométrico de peso y talla con una balanza OHAUS 1500 ( $\pm 0,01$  g) y un ictiómetro de 30 cm respectivamente

El control de la temperatura del agua se hizo diariamente 3 veces por día (9:00, 12:00 y 16:00 horas) con un termómetro de mercurio de 0 a 50°C ( $\pm 0,1^\circ\text{C}$ ), el oxígeno disuelto mg/L se registró diariamente con un oxímetro HACH (LDO. HD 20), el pH se registró con un potenciómetro HACH( LDO), el amonio y los nitritos mg/L se midieron con un kit por colorimetría para análisis de amonio y nitritos Marca Sera ®.

### **Evaluación de crecimiento de los peces**

#### **Evaluación de crecimiento peso y talla de los peces**

Se determinó la longitud total de acuerdo al criterio de Laevastu (1971), medido desde el extremo anterior de la mandíbula hasta el extremo distal del radio más largo de la aleta caudal, empleándose un ictiómetro de 50 cm y pesados en una balanza eléctrica OHAUS de capacidad de 1,5 kg con aproximación de 0,01 g.

#### **Evaluación de la tasa de crecimiento absoluto (TCA)**

Esta relación indica la ganancia en peso del pez en gramos por día (Gracia López y Castelló Orvay, 1966).


$$TCA = \frac{Pf - Pi}{\text{Días}}$$

Pf = Peso promedio final

Pi = Peso promedio inicial

### **Evaluación de la tasa de crecimiento específico (TCE)**

Esta relación indica el porcentaje de incremento en peso del pez por día (Gracia-López y Castillo Orvay, 1996) y se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$TCE = \left[ \frac{\ln(Pf) - \ln(Pi)}{N^{\circ}Días} \right] \times 100$$

Pf = Peso promedio final

Pi = Peso promedio inicial

### **Evaluación de la conversión alimentaria (C.A.)**

Esta relación se define como la ganancia en peso obtenida a partir de una unidad de peso del alimento (Hepher, 1979).

$$C.A. = \frac{CAC}{PPG}$$

CAC = Cantidad de alimento consumido

PPG. = Peso de pez ganado

### **Evaluación del factor de condición (k)**

Este factor es considerado como un índice de robustez para peces, su valor varía de acuerdo a la especie considerando un crecimiento homogéneo (Weatherley y Gill, 1987 y Steffens, 1989).

$$K = \frac{P(g)}{L(cm^3)} \times 100$$

P = Peso promedio (g)

L = Longitud total del pez (cm)

### COEFICIENTE TÉRMICO DE CRECIMIENTO (CTC)

Indica el coeficiente de productividad de cada criadero

$$CTC = \frac{100 \times (P_f^{0.333} - P_i^{0.333})}{t \times T}$$

Dónde:

Pf: Peso final

Pi: Peso inicial

T: temperatura

t: tiempo



## **Evaluación físico-químico del agua**

### **. Temperatura.**

La Temperatura del agua de las unidades experimentales, se registró diariamente con un termómetro de mínima y máxima de mercurio de 50 °C 3 veces al día: 9:00, 12:00 y 16:00 horas.

### **Oxígeno**

El registro del contenido de oxígeno disuelto mg/L en el agua se hizo con un oxímetro (HACH LDO HQ 20) diariamente.

### **. pH**

El registro del pH en el agua se hizo con un Potenciómetro (HACH, LDO) diariamente.

### **. Amoniac**

El amonio  $\text{NH}_4$ , y los nitritos  $\text{NO}_2$  se midieron semanalmente las concentraciones por colorimetría con un Kid de análisis de  $\text{NH}_4$  y  $\text{NO}_2$  marca Sera<sup>®</sup>.

## **Tratamientos de datos**

Los valores de peso y tallas de los peces de los tratamientos serán evaluados con el análisis de varianza ANOVA para determinar si existe diferencias significativas entre los tratamientos a alta densidad y a baja densidad.



## f). RESULTADOS

### Evaluación físico-químico del agua

Los parámetros físico-químicos juegan un papel muy importante en el cultivo y crecimiento de peces, en la Tabla 3 se presenta los promedios de temperatura °C, oxígeno disuelto (mg/L), amonio (mg/L), nitrito (mg/L) y el pH.

La temperatura °C varió entre  $23,9 \pm 0,40$  (T 1) y  $24,50 \pm 0,38$  °C (T 2); no existiendo diferencias significativas entre los tratamientos. (Tabla N

El promedio de oxígeno disuelto varió entre  $7,53 \pm 0,20$  (T1) y  $7,73 \pm 0,14$  mg/L. (T2) siendo muy bueno, ya que la saturación del agua estuvo por encima del 91% en todos los acuarios de cultivo.

El promedio de concentración de amonio en el agua varió entre  $0,28 \pm 0,03$  mg/L (T 1) y  $0,21 \pm 0,01$  mg/L (T 2). La concentración promedio de nitritos en las aguas de cultivo también fueron aceptables  $0,33 \pm 0,02$  mg/L. (T 1) y  $0,28 \pm 0,01$  (T 2). (Tabla N 3).

El pH de las aguas también son aceptadas para el cultivo y sus valores estuvo entre  $7,23 \pm 0,04$  (T 1) y  $7,29 \pm 0,03$  (T 2) respectivamente. .

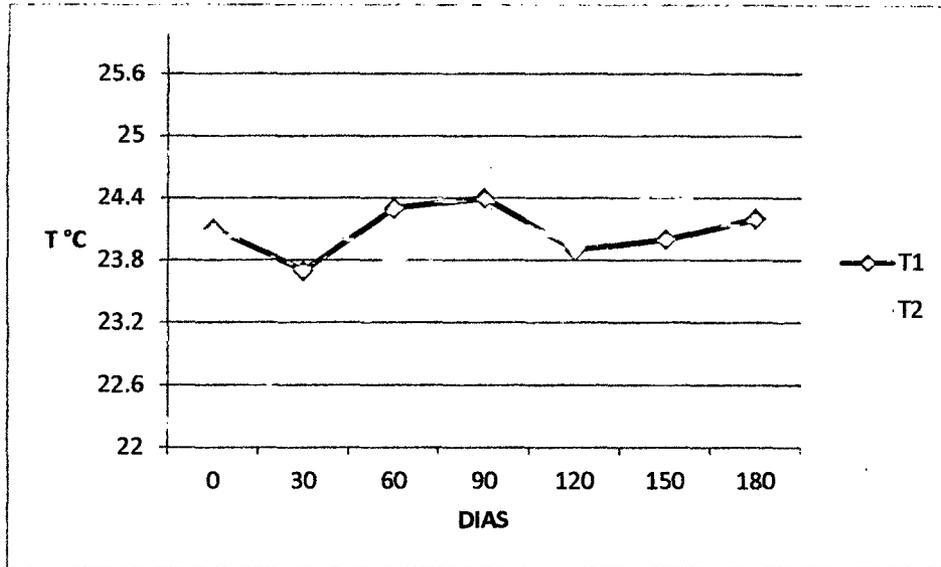
**Tabla 3: valores promedios de temperatura, oxígeno disuelto, pH, amonio y nitritos en los cultivos de alevines de tilapia roja *Oreochromis sp.* durante el periodo experimental.**

Tratamiento	Temp°C	OD mg/L	Amonio mg/L	Nitritos mg/L	PH
I	$23,90 \pm 0,40^a$	$7,73 \pm 0,14^a$	$0,21 \pm 0,01^a$	$0,33 \pm 0,02^a$	$7,25 \pm 0,06^a$
II	$24,05 \pm 0,38^a$	$7,64 \pm 0,15^a$	$0,24 \pm 0,04^a$	$0,29 \pm 0,03^a$	$7,29 \pm 0,03^a$
Intervalos óptimos	24 - 32	4 - 9	< 0,1	< 0,6	6,5 - 8,5

Diferentes letras indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ )

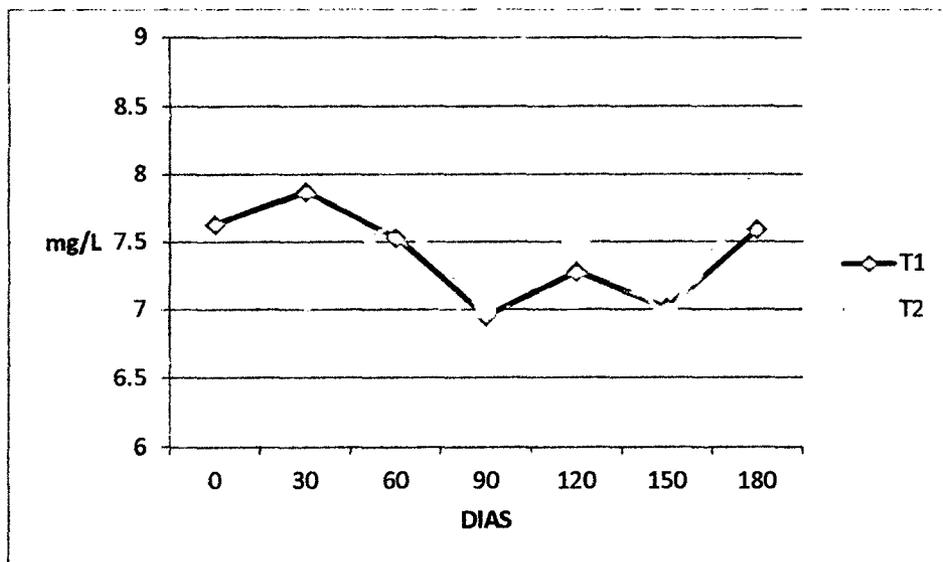
Fuente: Propia

**Fig. 13 Valores promedios de temperatura °C de las aguas de los Tratamientos por días de los cultivos de *Oreochromis niloticus***



Fuente : propia

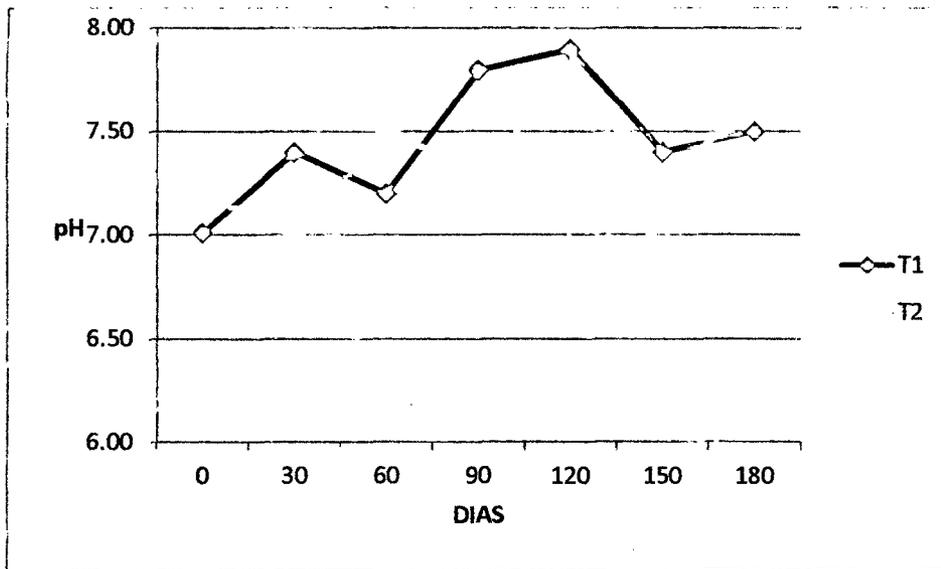
**Fig. 14 Valores promedios de oxígeno disuelto (mg/L) de las aguas de cultivo por tratamientos por días de *Oreochromis niloticus***



Fuente: propia

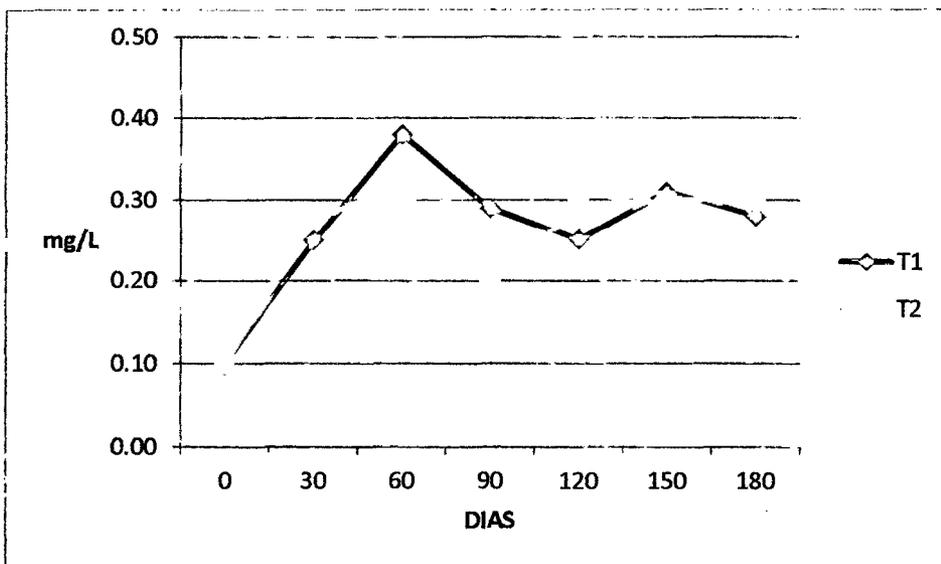
*[Handwritten signature]*

**Fig. 15 Valores promedios de pH de las aguas de cultivo de *Oreochromis niloticus* por tratamientos y días**



Fuente propia

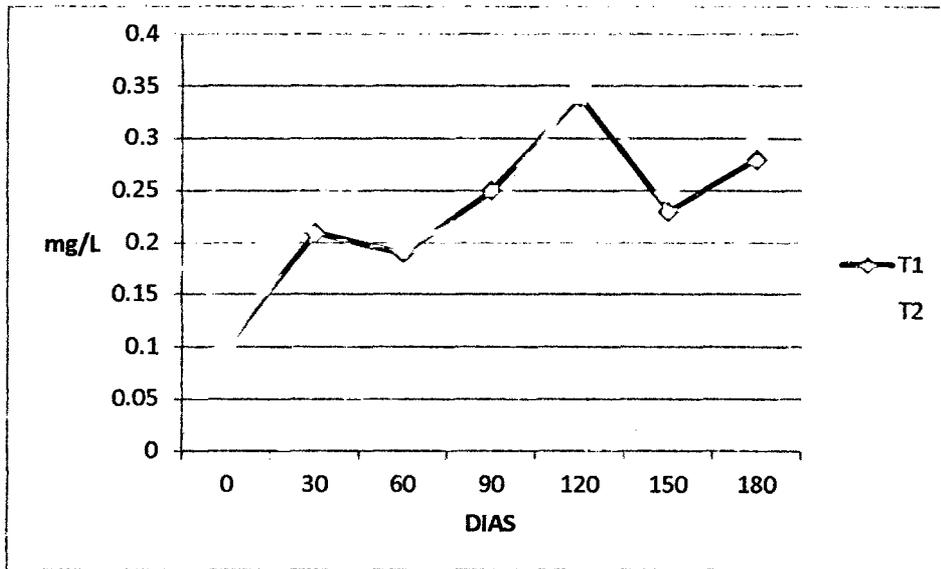
**Fig. 16 Valores promedio de Amonio  $\text{NH}_4$  mg/L de las aguas de cultivo de *Oreochromis niloticus* por tratamientos y días**



Fuente: propia

*[Handwritten signature]*

**Fig. 17 Valores promedios de Nitritos NO<sub>2</sub> de las aguas del cultivo de *Oreochromis niloticus* por tratamientos y días**



Fuente : propia

## Evaluación de la ganancia de peso de los peces

Cuadro N ° 1.

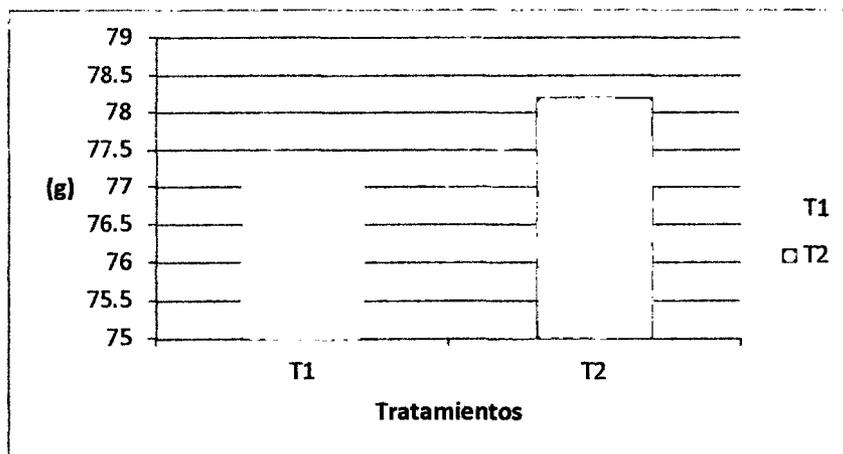
Ganancia de peso en gramos de tilapia *Oreochromis sp* por tratamientos y por repeticiones

R	Tratamiento 1	Tratamiento 2
1	76.99 ± 2.26	80.01 ± 1.99
2	78.38 ± 2.81	78.39 ± 2.35
3	76.57 ± 2.45	76.53 ± 2.01
X	77.31 ± 2.30	78.31 ± 2.60

Fuente : Elaboración propia

En el cuadro N° 1 se muestra las ganancias promedio de peso de los tratamientos 1 (densidad de carga 40 Peces) y Tratamiento N 2 (Densidad de carga 30 peces) y sus repeticiones , los promedios de ganancia de peso para el tratamiento N 1 fue de 77.31 ± 2.30 g y de 78.31 ± 2.60 g para el tratamiento N 2, el análisis de Varianza mostro que no existe diferencia significativa entre tratamientos (Anexo 6).

**Fig. 18 Valores promedios de ganancia de peso GP (g) de *Oreochromis niloticus* por tratamiento y días**



Fuente: Propia



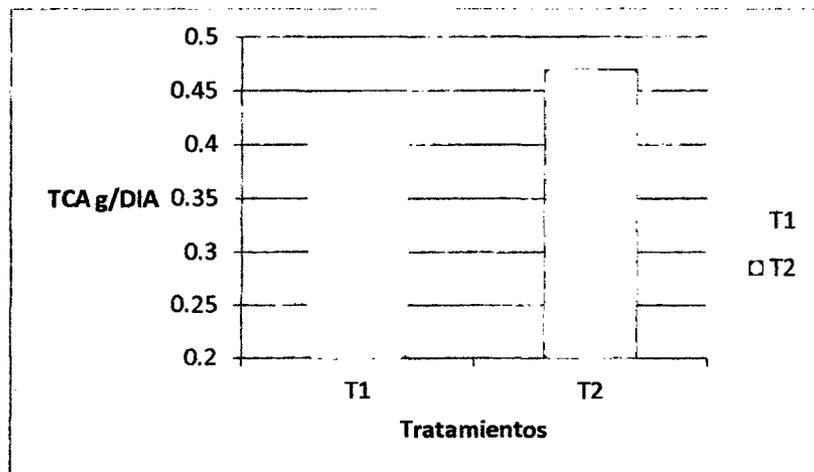
Cuadro N 2

Tasa de crecimiento absoluto TCA (g/día) en Tilapia *Oreochromis sp*  
Por tratamientos

R	Tratamiento 1	Tratamiento 2
1	0.42 ± 0.02	0.46 ± 0.06
2	0.41 ± 0.03	0.49 ± 0.03
3	0.48 ± 0.07	0.48 ± 0.02
X	0.44 ± 0.05	0.47 ± 0.04

Fuente : Elaboración propia

**Fig. 19 Valores promedios de tasa de crecimiento absoluto TCA(g/día) de *Oreochromis niloticus* por tratamientos**



Fuente: propia



### Tasa de crecimiento absoluto

En la cuadro N° 2 se presenta los valores de la tasa de crecimiento absoluto (TCA) de los alevines de tilapia roja *Oreochromis sp.* por tratamientos durante el periodo experimental, el análisis de varianza no mostró diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) en la TCA (g/día) entre el tratamientos y el control, se obtuvo un TCA de  $0.44 \pm 0.05$  en el tratamiento T1 (40 peces) y el tratamiento control de T2 (30 peces) de  $0.47 \pm 0.04$  g/día (anexo 7)

### Evaluación de la tasa de crecimiento específico (TCE)

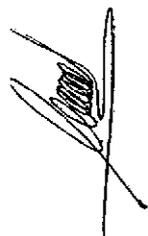
En el cuadro N° 3 se puede observar que la tasas de crecimiento específico al final del experimento, fueron de  $2.09 \pm 0.30$  %/día para el tratamiento T1 y para el tratamiento T2 (control) fue de  $2.49 \pm 0.45$  %/día el análisis de varianza ANOVA ( $p < 0.05$ ) no mostró diferencia significativa entre tratamientos (anexo N° 2)

Cuadro N° 3

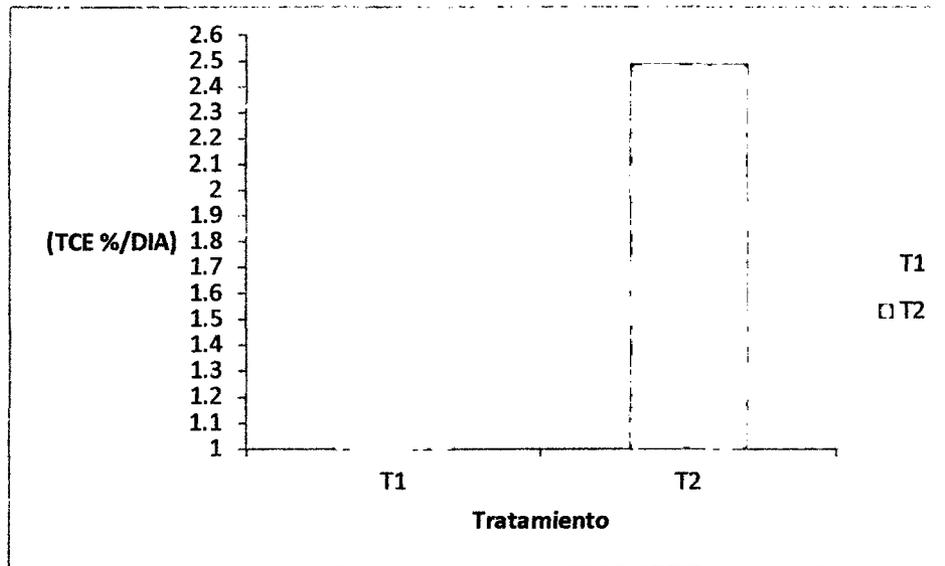
Tasa de crecimiento relativo % / día de Tilapia *Oreochromis sp* por tratamientos

R	Tratamiento 1	Tratamiento 2
1	$2.06 \pm 0.21$	$2.03 \pm 0.32$
2	$2.11 \pm 0.34$	$3.12 \pm 0.41$
3	$2.10 \pm 0.27$	$2.34 \pm 0.23$
x	$2.09 \pm 0.30$	$2.49 \pm 0.45$

Fuente: Elaboración propia



**Fig. 20 Valores promedios de la tasa de crecimiento específico TCE %/día de *Oreochromis niloticus* por tratamientos**



Fuente propia

### **Tasa de conversión alimenticia**

En el cuadro N° 4 se muestra los resultados de la tasa de conversión alimenticia de los tratamientos, de  $1.24 \pm 0.42$  para el tratamiento T1 y de  $1.21 \pm 0.27$  para el tratamiento 2 (control), igualmente el análisis de varianza ANOVA ( $P < 0.05$ ) no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos (anexo 8)

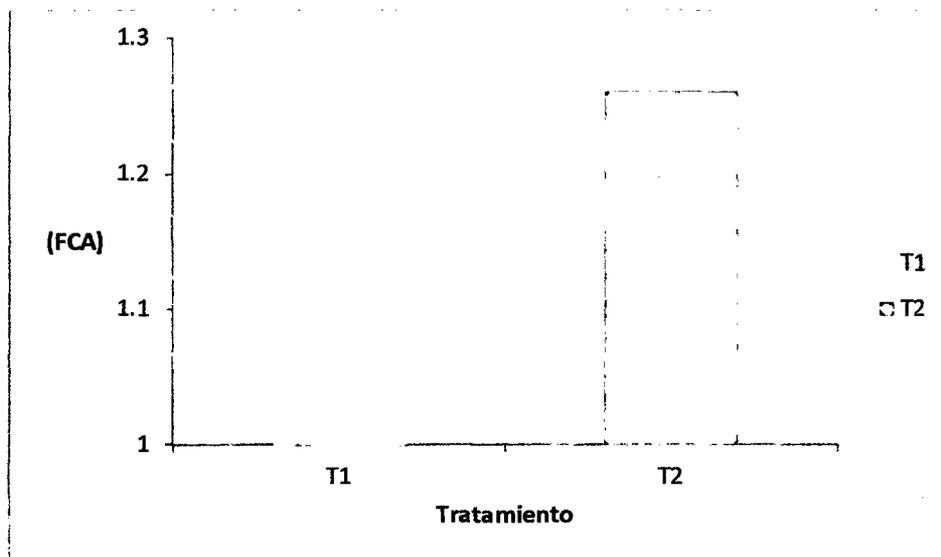
Cuadro N° 4

Tasa de conversión alimentaria de tilapia *Oreochromis sp*  
Por tratamientos

R	Tratamiento 1	Tratamiento 2
1	1.36 ± 0.05	1.21 ± 0.10
2	1.24 ± 0,11	1.02 ± 0.08
3	1.13 ± 0.14	1.41 ± 0.17
X	1.24 ± 0.42	1.21 ± 0.27

Fuente: Elaboración propia

**Fig. 21** Valores promedios del Factor de conversión alimentaria FCA de *Oreochromis niloticus* por tratamientos



Fuente : propia

**Factor de condición**

En el cuadro N°5 se muestra los resultados del factor de condición por tratamientos, así el tratamiento T1 tiene en promedio un factor de condición de  $1.51 \pm 0.42$  y el tratamiento T2 (control) tiene un factor de condición de  $1.50 \pm$

0.22, el análisis de varianza ANOVA ( $P > 0.05$ ) no mostró diferencia significativa entre tratamientos.

Cuadro N° 5  
Factor de condición de tilapia *Oreochromis sp*  
Por tratamientos

R	Tratamiento 1	Tratamiento 2
1	1.52 ± 0.10	1.51 ± 0.11
2	1.50 ± 0,08	1.50 ± 0.09
3	1.51 ± 0.11	1.51 ± 0.10
X	1.51 ± 0.42	1.50 ± 0.22

Fuente: Elaboración propia

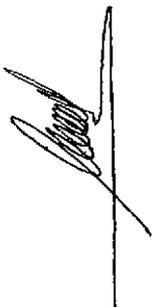
### **Coefficiente térmico de crecimiento**

En el cuadro N°6 se muestra los coeficientes térmicos de crecimiento (factor de productividad de cada unidad experimental) por tratamientos y repeticiones, el tratamiento T1 muestra un coeficiente promedio de  $0.0876 \pm 0.005$  y el tratamiento t2 (control) un coeficiente de  $0.0891 \pm 0.005$ , el análisis de varianza, ANOVA ( $P > 0.05$ ) mostró que no existe diferencia significativa entre los tratamientos (anexo ).

Cuadro N° 6  
Coeficiente térmico de crecimiento de tilapia *Oreochromis sp*  
Por tratamientos

R	Tratamiento 1	Tratamiento 2
1	0.0848 ± 0.006	0.0910 ± 0.002
2	0.0916 ± 0,004	0.0891 ± 0.005
3	0.0876 ± 0.005	0.0876 ± 0.007
X	0.0882 ± 0.005	0.0892 ± 0.004

Fuente: propia



## g). DISCUSIÓN

En el presente estudio de evaluación de parámetros de crecimiento de tilapia *Oreochromis niloticus* se obtuvieron ganancias de peso de  $77.31 \pm 2.30$  y  $78.31 \pm 2.60$  para el T1 y T2 respectivamente. TCA de  $0.44 \pm 0.05$  para T1 y de  $0.47 \pm 0.04$  para el tratamiento T2, respectivamente. Tasas de crecimiento específico de  $2.09 \pm 0.30$  %/día para T1 y  $2.49 \pm 0.45$  %/día para T2;. Conversión alimentaria de  $1.24 \pm 0.42$  para el T1 y  $1.21 \pm 0.27$  para el T2. El Factor de condición para T1 fue de  $1.51 \pm 0.42$  y de  $1.50 \pm 0.22$  para el tratamiento T2 y el coeficiente térmico de crecimiento para el tratamiento T1 fue de  $0.0882 \pm 0.005$  y de  $0.0892 \pm 0.004$  para el tratamiento T2.

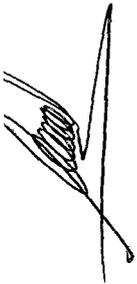
Díaz Barboza, *et al*, (2012) Durante 11 meses de cultivo semi-intensivo de *Oreochromis niloticus* se obtuvieron valores de peso de 0.87 a 320.41g y una longitud de 3.13 a 27.36 cm. En cuanto al factor de conversión alimenticia final fue 1.65:1. La tasa de crecimiento fue de 29.05 g/mes. La supervivencia final fue del 70%. Los valores promedio de temperatura del agua oscilaron en un rango de 20.8 a 24.5 °C, el oxígeno disuelto varió de 4,5 a 6 mg/l, y el pH se mantuvo alrededor de 7. Estos mayores resultados en la ganancia de peso obtenidos por Díaz Barboza se debe a que trabajo mas días (11meses) respecto al presente trabajo que fue de 180 días. Así también Díaz Barboza obtuvo conversiones alimentarias mas altas (menos eficientes) que las conversiones alimentarias obtenidas en el presente trabajo (más eficientes) es que a mayor peso los peces tienen conversiones alimentarias mas altas

Poot-Delgado, *et al.*, (2010) presentan los valores de crecimiento de las tres dietas comerciales, con un peso inicial de 1.15g, en 91 días de cultivo, en donde se observa que la dieta C (Campi® con un contenido proteico de 40%) registró un peso final de 58.08g, y una ganancia en peso diario de 0.4241g, moderadamente por arriba de la dieta A (Purina®), quien registra un peso final de 57.95g, con una ganancia diaria en peso de 0.5241g, en tanto que la dieta



presenta el menor peso final registrado (56.84g), estos resultados obtenidos por Poot-Delgado son similares a los obtenidos en el presente trabajo.

Gaspar R. Poot-López et al.,(2012) utilizaron un sistema de recirculación semiabierto que incluía 15 tanques auto-limpiables de fibra de vidrio de 0,75 m<sup>3</sup> de capacidad, además de un tanque de sedimentación, aireación complementaria y recambios diarios del 25% del agua de los tanques. Para la alimentación de los peces se suministró alimento balanceado comercial para engorda de tilapia (30% de proteína), de la marca Agribands, en que se usaron 243 juveniles de tilapia con peso promedio inicial de  $8,71 \pm 0,03$  g, a una densidad En cada experimento se utilizaron machos revertidos a una densidad de 36 peces m<sup>-3</sup>. Obteniendo ganancias de peso de 96.77 g y conversiones alimentarias de 1.2, 1.69 y 1,78 , los resultados de ganancias de peso son un poco mayores a los obtenidos en el presente trabajo de 77 g a 78 g. esto puede ser a que Gaspar et al 2012 comenzaron su experimento con pesos más altos de los peces 8.71 g y en nuestro trabajo con peces de 2g.



## h). REFERENCIALES

Arredondo, L. *et al.*, 1996, "Descripción, operación y resultados de un sistema de recirculación cerrado para acuicultura", en *Contactos México* 18: 33-38.

Bassleer, G., 1994, "The international trade in aquarium ornamental fish", e *Infofish International* 5:15-17.

Brister, J. y A. Kapuscinski., 2000, *Organic Aquaculture: A new wave of the future*, The Institute for Social, Economic and Ecological Sustainability, University of Minnesota, Minnesota.

Boyd, E., 1982, *Water Quality Management for Pound Fish Culture*, Elsevier, Amsterdam.

Pillay, T.V and Kutty, M.N. 2005. *Aquaculture Principal and Practices*, Blackwell Publishing, United Kingdom

Challenger, A., 1998, *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro*, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad, Instituto de Biología Agrupación Sierra Madre S. C., México.

Chen, S. *et al.*, 1993, "Production, characteristics and modeling of aquaculture sludge from a recirculating aquaculture system using a granular media biofilter", en Wang, K. (comp.), *Techniques for modern aquaculture*, St. Joseph, MI, American Soc. of Agr. Eng granular media biofilter", en Wang, K. (comp.), *Techniques for modern aquaculture*, St. Joseph, MI, American Soc. of Agr. Eng



Díaz Barboza, Roger Alva Calderón, Bilmia Veneros Urbina . (2012) Cultivo semi-intensivo de tilapia, *Oreochromis niloticus*, en estanque de concreto en el caserío Palo Blanco (Casca, La Libertad-Perú) .Laboratorio de Acuicultura, Departamento de Pesquería. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú

Ebeling, J.M., M.B. Timmons & J.J. Bisogni. 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* 257: 346-358.

Flimlin, G. *et al.*, 2008, *Aquaculture systems for the Northeast*, NRAC Publication No. 104, The Northeastern Regional Aquaculture Center, University of Maryland, College Park, The United States Department of Agriculture, Cooperative States Research, Education and Extension Service, EUA.

Gracia-lópez, V. Y F. Castelló-Orvay. (1996). Crecimiento del mero *Epinephelus marginatus* (guaza) bajo distintas condiciones de cultivo. IX Congreso Latinoamericano de Acuicultura, Segundo Simposium. avances y perspectivas de la acuicultura en Chile, Universidad Católica del Norte, Asociación Latinoamericana de Acuicultura, Coquimbo, Chile

Gullian-Klanian, M and Arámburu-Adame, C Performance of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings in a hyper-intensive recirculating aquaculture system with low water exchange. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, Mar 2013, vol.41, no.1, p.150-162. ISSN 0718-560X

Hepher, B. (1993). *Cultivo de peces comerciales*. Editorial Limusa. Quinta Edición. México.2001. 316 pág.

Hernández, C. *et al.*, 2009, "Sistemas de producción de acuicultura con recirculación de agua para la región norte, noreste y noroeste de México", en *Revista Mexicana de Agronegocios* 25(8): 117-130.

Jenner, A., 2010, "Los sistemas de recirculación en acuicultura: ¿el futuro de la piscicultura?", en *Revista Panorama Acuícola* 15(3): 32-34.

Lasur, A. y C. Britt, 1997, *Pond recirculating production systems*, SRAC Publication No. 455, Southern Regional Aquaculture Center, The United States Department of Agriculture, Cooperative States Research, Education and Extension Service, EUA.

Losordo, T. 1997. Recirculating aquaculture production systems: The status and future. *Aquaculture Magazine* 24(1):38-45.

Masser, M. P, Rakosy, J and Losordo, T. M. 1998. Recirculating Aquaculture Tanks Production System, Management of Recirculating System. Southern Regional Aquaculture Center, SRAC Publication No. 452.

Martínez, D. *et al.*, 2010b, Depredación de peces de ornato por aves silvestres en una granja productora en Morelos, México, XII Congreso Nacional de Ictiología, Nayarit, Méx. 26-29 octubre 2010, Sociedad Ictiológica Mexicana.

Martínez, D., *et al.*, 2010c, Evaluación del crecimiento de *Astronotus ocellatus* con suplemento de probióticos en sistemas acuícolas de recirculación verticales, XII Congreso Nacional de Ictiología, Nayarit, Méx. 26-29 octubre 2010, Sociedad Ictiológica Mexicana.

Naylor, L. *et al.*, 2000, "Effect of aquaculture on world fish supplies", en *Nature* 405(29):1017-1024.

Parada G. 2007, tendencias de la acuicultura mundial y las necesidades de innovación de la acuicultura chilena, *Acuicultura e Innovación*, Chile, pp. 42- 44



Piedrahita, H., 2003, "Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation", en *Aquaculture* 226: 35-44.

Pillay, T.V and Kutty, M.N. 2005. *Aquaculture Principles and Practices*, Blackwell Publishing, United Kingdom

Poot-Delgado, Adrián Salazar-Novelo y F. Hernández-Hernández (2009) evaluación de dietas comerciales sobre el crecimiento de tilapia *oreochromis niloticus* (linnaeus), etapa crianza 2º Congreso Internacional de Investigación Cd. Delicias, Chihuahua, México. Del 23 al 25 de Setiembre 2009

Rakocy, J. et al., 1996, Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture, SRAC núm. 454, Southern Regional Aquaculture Center, The United States Department of Agriculture, Cooperative States Research, Education and Extension Service, EUA.

Segovia, Manuel ,2002. Cultivo de tilapia en sistemas cerrados en Estados Unidos. Panorama Acuícola, México.

Segovia M. 2010, Principios de los Sistemas de Recirculación en Acuicultura, III Curso Virtual, AQUA CAMPUS, México

Schuster, C. y H. Stelz, 1998, "Reduction in the make-up water in semineering 17: 167-174.

Sociedades rurales, producción y medio ambiente año 2012 vol.12 núm 24 sociedades rurales, producción y medio ambiente AÑO 2012 VOL.12 NÚM 24

Timmons, M.B, Ebeling, J.M, Wheaton, F.W, Summerfelt, S.T and Vinci, B.J. 2002. *Recirculating Aquaculture Systems*. 2nd Northeastern Regional Aquaculture Center Publication No. 01-002.



Timmons, M. y J. Ebeling, 2007, *Recirculating Aquaculture*, NRAC Publication núm. 01-007, Nueva York.

Timmons M.B., Ebeling J.M., Wheaton F.W, Summerfelt S.T. y Vinci B.J.2002.Sistemas de Recirculación para la Acuicultura. Editado por Fundación Chile. Santiago Chile. pp. 207-258; 278- 279.

White, K. *et al.*, 2004, *At a Crossroads: Will Aquaculture Fulfill the Promise of the Blue Revolution?*, The Seaweb Aquaculture Clearinghouse Report, en <http://www.aquacultureclearinghouse.org.>, consultado el 14/12/2011.

Vega-Villasante, F., Carrillo, F. O., Jaime, C. B., Galindo, L. J.(2009) Alimentos Funcionales en la nutrición de organismos acuáticos: del pasado reciente al futuro inmediato. *Industria Acuícola*. 2008, vol. .4. p. 36-38.

WEATHERLEY, A.H. AND H. S. GILL (1989). *The biology of fish growth*. Academic Press. Orlando, Florida. 443 p.

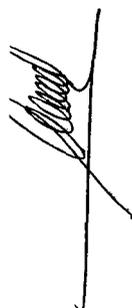
- <http://www.akvagroup.com/productos/acuicultura-en-tierra/sistemas-de-recirculaci-n>

-ATR Venture Private Limited. 2007. *Aquafarming, Future Technology in Aquaculture*  
<<http://www.aquaculturetech.com>>\* Refer to appendix 7

-<http://criadetilapiaentanques.blogspot.com/>

- Aquafarming, Future Technology in Aquaculture<<http://www.aquaculturetech.com>>\*

- <http://www.akvagroup.com/productos/acuicultura-en-tierra/sistemas-de-recirculaci-n>



**i). APENDICE**

**APENDICE 1**

**ANALISIS DE VARIANZA DE LOS VALORES DE TEMPERATURA DE LOS TRTAMIENTOS T1 Y T2**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	1	0.0007	0.0007	0.01	0.910
Error	12	0.6486	0.0540		
Total	13	0.6493			

S = 0.2325    R-cuad. = 0.11%    R-cuad. (ajustado) = 0.00%

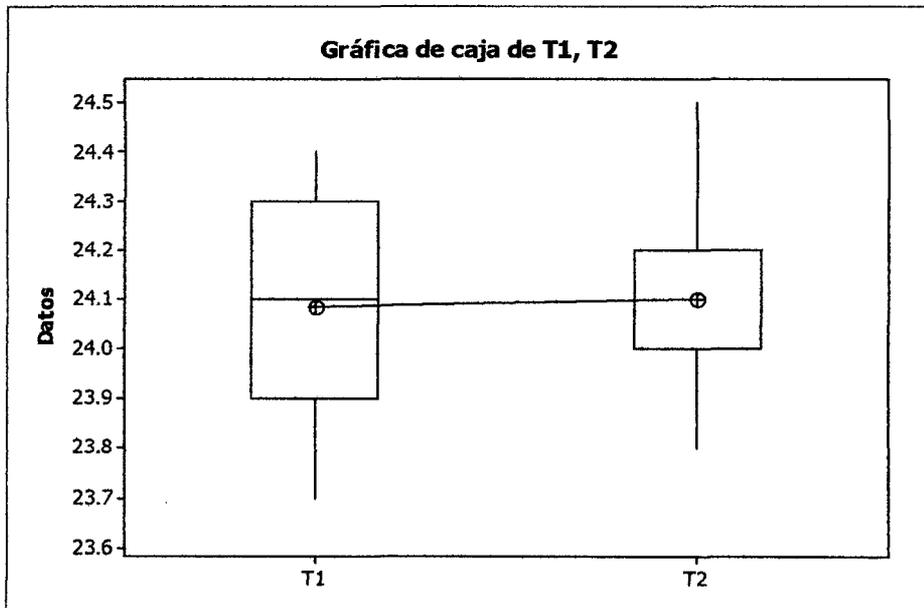
ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs
T1	7	24.086	0.241	(-----*-----)
T2	7	24.100	0.224	(-----*-----)

23.90      24.00      24.10      24.20

Desv.Est. agrupada = 0.232

**GRÁFICO DE LOS VALORES PROMEDIO DE TEMPERATURA °C DEL T1 Y T2**



FUENTE : PROPIA

*[Handwritten signature]*

## APENDICE 2

### ANALISIS DE VARIANZA DE LOS VALORES DE OXIGENO DISUELTO DE LOS TRTAMIENTOS T1 Y T2

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	1	0.016	0.016	0.13	0.724
Error	12	1.509	0.126		
Total	13	1.525			

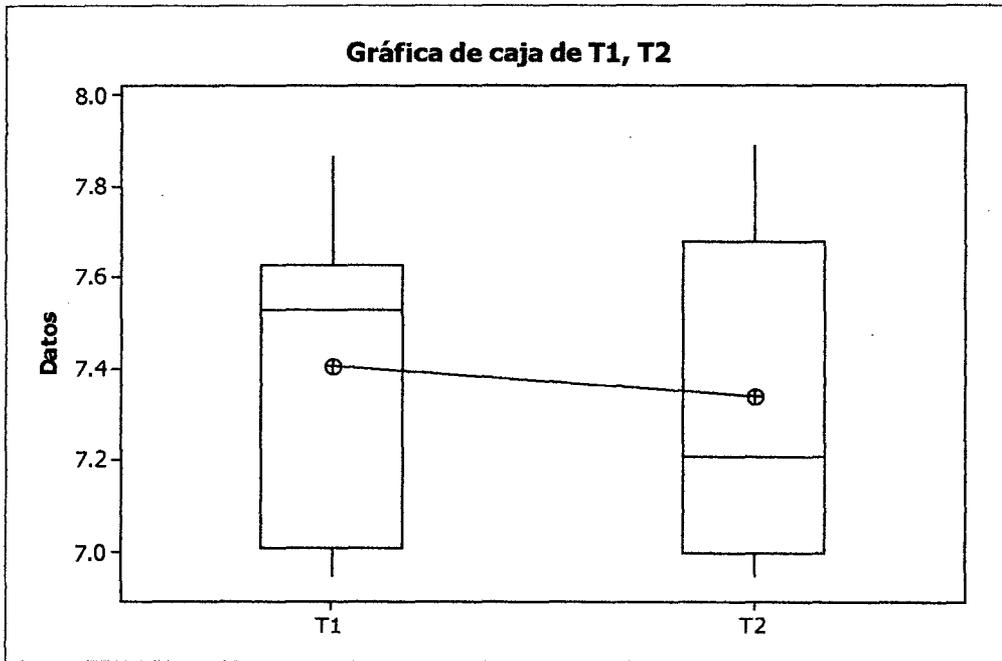
S = 0.3546    R-cuad. = 1.08%    R-cuad.(ajustado) = 0.00%

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
T1	7	7.4086	0.3404	(-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+)
T2	7	7.3400	0.3682	(-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+)

7.20      7.40      7.60      7.80

Desv.Est. agrupada = 0.3546

### GRÁFICO DE LOS VALORES PROMEDIO DE OXIGENO DISUELTO mg/L DEL T1 Y T2



FUENTE: PROPIA

## APENDICE 3

### ANALISIS DE VARIANZA DE LOS VALORES PROMEDIO DE pH DE LOS TRATAMIENTOS T1 Y T2

#### ANOVA unidireccional: T1, T2

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	1	0.0186	0.0186	0.22	0.648
Error	12	1.0167	0.0847		
Total	13	1.0352			

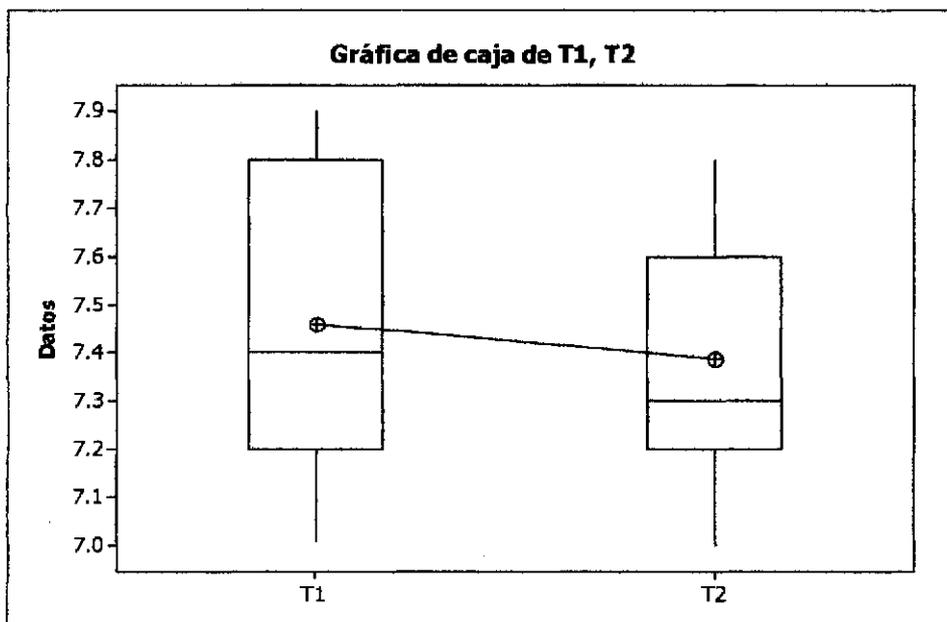
S = 0.2911    R-cuad. = 1.79%    R-cuad. (ajustado) = 0.00%

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
T1	7	7.4586	0.3131	(-----*-----)
T2	7	7.3857	0.2673	(-----*-----)

7.20      7.35      7.50      7.65

Desv.Est. agrupada = 0.2911

#### GRÁFICO DE LOS VALORES PROMEDIO DE pH DEL T1 Y T2



FUENTE : PROPIA

## APENDICE 4

### ANALISIS DE VARIANZA DE LOS VALORES PROMEDIO DE AMONIO mg/L DE LOS TRATAMIENTOS T1 Y T2

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	1	0.00011	0.00011	0.02	0.881
Error	12	0.05906	0.00492		
Total	13	0.05917			

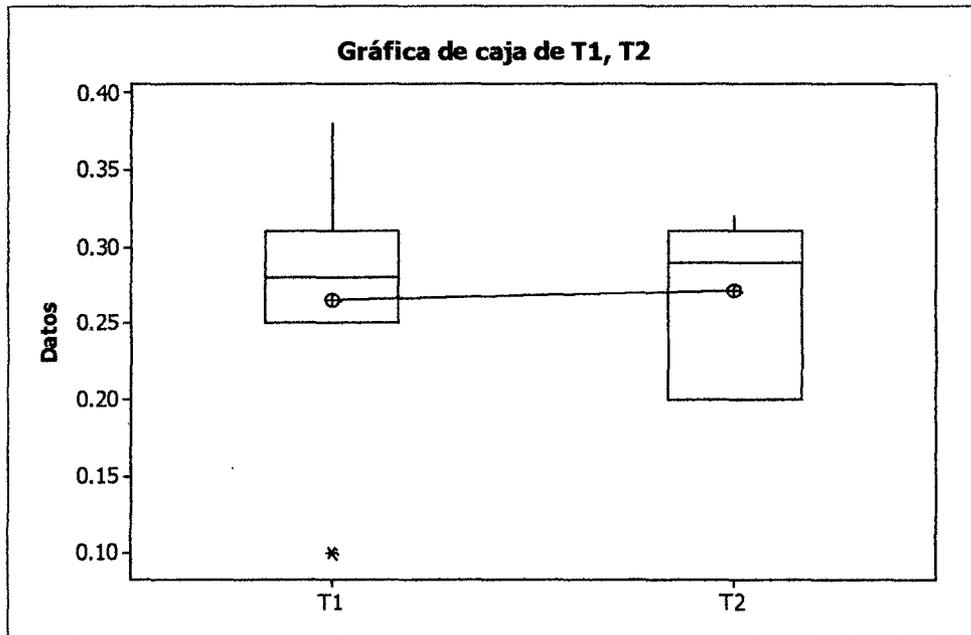
S = 0.07015    R-cuad. = 0.19%    R-cuad.(ajustado) = 0.00%

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
T1	7	0.26571	0.08541	(-----*-----)
T2	7	0.27143	0.05047	(-----*-----)

0.210      0.245      0.280      0.315

Desv.Est. agrupada = 0.07015

### GRÁFICO DE LOS VALORES PROMEDIO DE amonio mg/L DEL T1 Y T2



FUENTE: PROPIA

*[Handwritten signature]*

## APENDICE 5

### ANALISIS DE VARIANZA DE LOS VALORES PROMEDIO DE NITRITOS ( mg/L )DE LOS TRATAMIENTOS T1 Y T2

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	1	0.00046	0.00046	0.14	0.715
Error	12	0.03931	0.00328		
Total	13	0.03977			

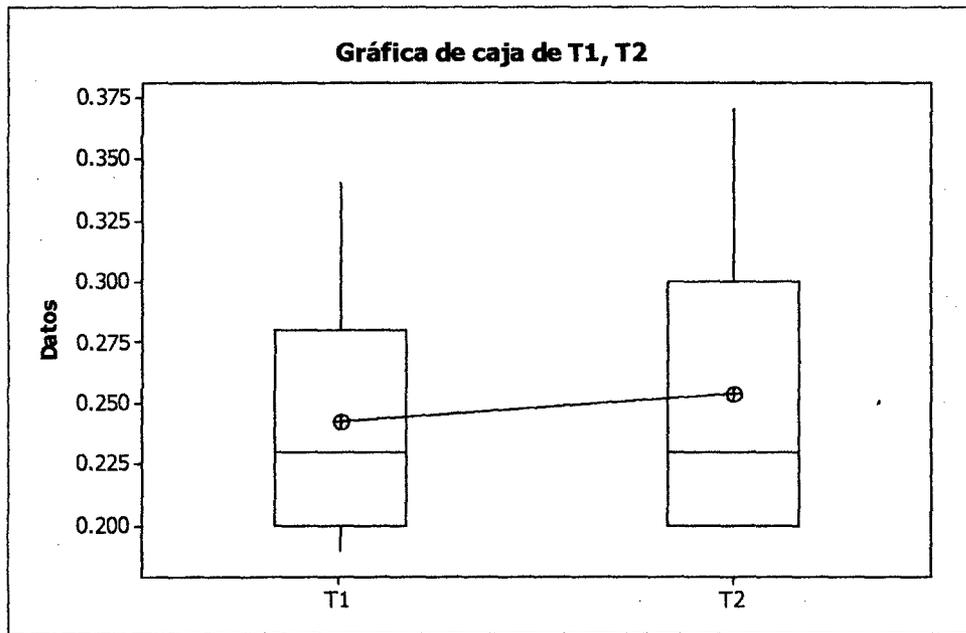
S = 0.05724    R-cuad. = 1.15%    R-cuad.(ajustado) = 0.00%

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
T1	7	0.24286	0.05282	(-----*-----)
T2	7	0.25429	0.06133	(-----*-----)

0.210      0.240      0.270      0.300

Desv.Est. agrupada = 0.05724

### GRÁFICO DE LOS VALORES PROMEDIO DE NITRITOS( mg/L) DEL T1 Y T2



FUENTE : PROPIA

## APENDICE 6

### ANALISIS DE VARIANZA DE LOS VALORES PROMEDIO DE GANANCIA DE PESO (G) DE LOS TRATAMIENTOS T1 Y T2

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	1	3.792	3.792	4.17	0.111
Error	4	3.635	0.909		
Total	5	7.427			

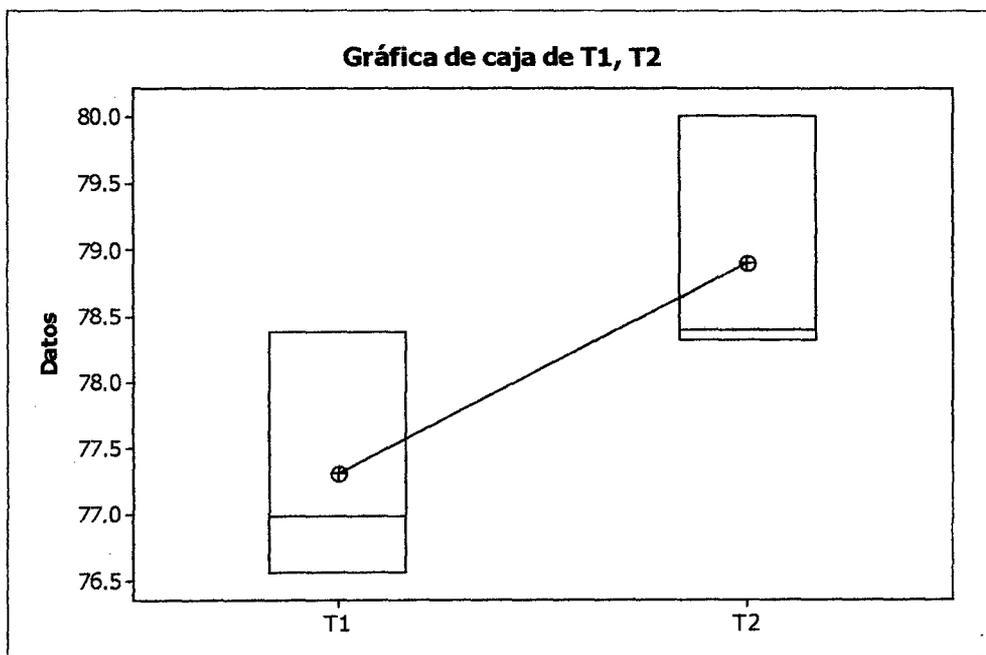
S = 0.9533    R-cuad. = 51.06%    R-cuad.(ajustado) = 38.82%

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
T1	3	77.313	0.947	(-----*-----)
T2	3	78.903	0.959	(-----*-----)

76.8      78.0      79.2      80.4

Desv.Est. agrupada = 0.953

### GRÁFICO DE LOS VALORES PROMEDIO DE GANANCIA DE PESO(G) DEL T1 Y T2



FUENTE: PROPIA



## APENDICE 8

### ANALISIS DE VARIANZA DE LOS VALORES PROMEDIO DE LA TASA DE CRECIMIENTO ESPECIFICO (TCE) (%/dia) DE LOS TRATAMIENTOS T1 Y T2

#### ANOVA unidireccional: T1, T2

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	1	0.0000	0.0000	0.00	0.983
Error	4	0.1231	0.0308		
Total	5	0.1231			

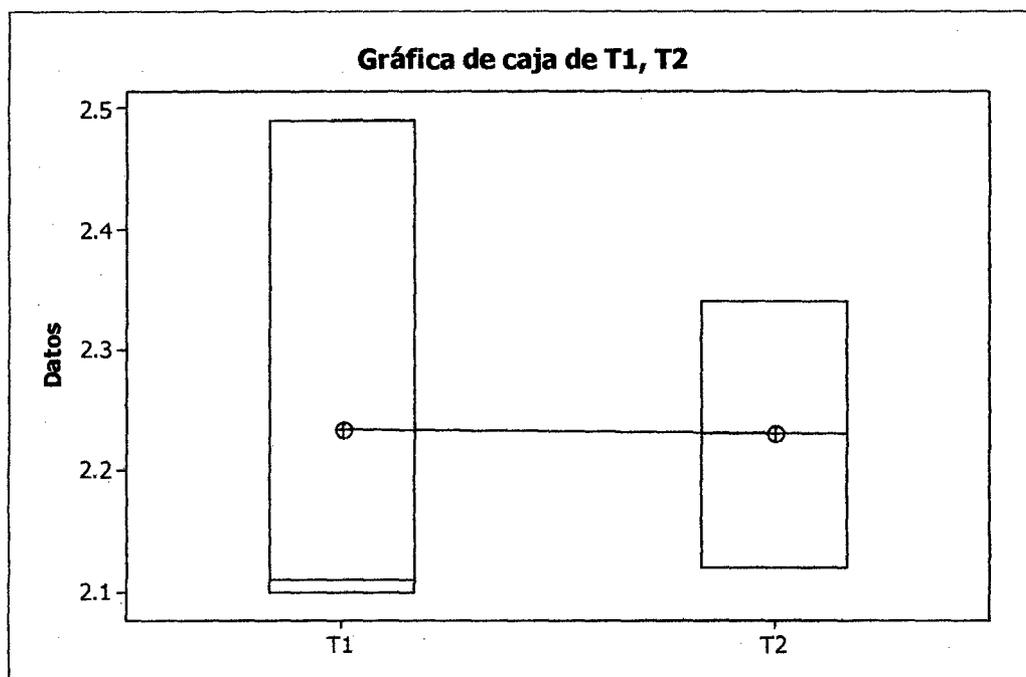
S = 0.1754    R-cuad. = 0.01%    R-cuad.(ajustado) = 0.00%

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
T1	3	2.2333	0.2223	(-----*-----)
T2	3	2.2300	0.1100	(-----*-----)

+-----+-----+-----+-----+  
1.95      2.10      2.25      2.40

Desv.Est. agrupada = 0.1754

### GRÁFICO DE LOS VALORES PROMEDIO DE LA TASA DE CRECIMIENTO ESPECIFICO (TCE) (%/día) DEL TRATAMIENTO T1 Y T2



FUENTE: PROPIA

## APENDICE 9

### ANALISIS DE VARIANZA DE LOS VALORES PROMEDIO DE LA TASA DE CRECIMIENTO ESPECIFICO (TCE) (%/dia) DE LOS TRATAMIENTOS T1 Y T2

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	1	0.0011	0.0011	0.04	0.845
Error	4	0.0987	0.0247		
Total	5	0.0998			

S = 0.1571    R-cuad. = 1.07%    R-cuad. (ajustado) = 0.00%

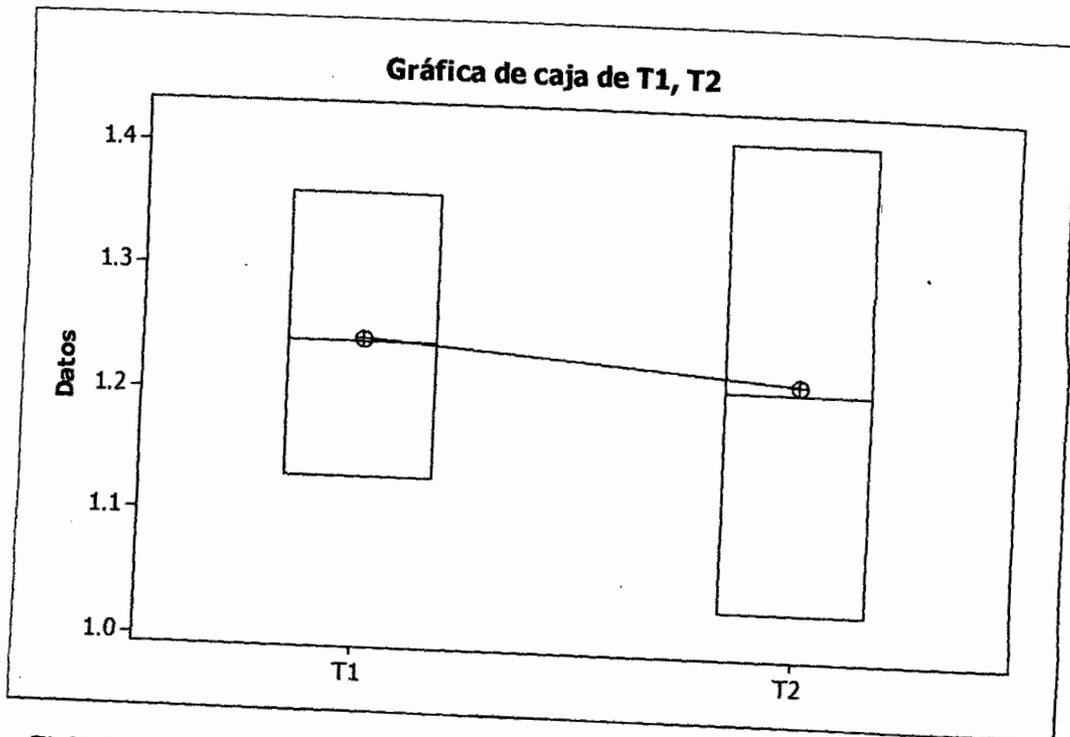
ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs
T1	3	1.2433	0.1150	(-----+-----+-----+-----+-----+)
T2	3	1.2167	0.1901	(-----+-----+-----+-----+-----+)

1.05      1.20      1.35      1.50

Desv.Est. agrupada = 0.1571

### GRÁFICO DE LOS VALORES PROMEDIO DELM FACTOR DE CONVERSION ALIMENTARIA (FCA) DEL TRATAMIENTO T1 Y T2



FUENTE : PROPIA

**ANEXO 1**  
**REQUERIMIENTO DE ALIMENTO EN BASE A LA TEMPERATURA Y PESO DE LA**  
**TILAPIA.**

°C Agua	1-10 (gr)	10-20 (gr)	20-40 (gr)	40-70 (gr)
21	3.4 %	2.8 %	2.4 %	2.3 %
22	3.5 %	2.9 %	2.5 %	2.4 %
23	3.7 %	3.0 %	2.6 %	2.5 %
24	3.8 %	3.2 %	2.7 %	2.6 %
25	4.0 %	3.3 %	2.8 %	2.7 %
26	4.2 %	3.4 %	2.9 %	2.8 %
27	4.3 %	3.6 %	3.0 %	2.9 %

°C Agua	70-120 (gr)	120-200 (gr)	200-300 (gr)	300-400 (gr)	400-500 (gr)	500-600 (gr)	600-700 (gr)	700-800 (gr)
21	1.8 %	1.5 %	1.2 %	1.1 %	1.0 %	0.9 %	0.8 %	0.7 %
22	1.9 %	1.6 %	1.3 %	1.1 %	1.0 %	0.9 %	0.8 %	0.7 %
23	1.9 %	1.7 %	1.4 %	1.2 %	1.1 %	1.0 %	0.9 %	0.8 %
24	2.0 %	1.8 %	1.4 %	1.3 %	1.1 %	1.0 %	0.9 %	0.8 %
25	2.1 %	1.8 %	1.5 %	1.3 %	1.2 %	1.0 %	0.9 %	0.8 %
26	2.2 %	1.9 %	1.5 %	1.4 %	1.2 %	1.1 %	1.0 %	0.9 %
27	2.3 %	2.0 %	1.6 %	1.4 %	1.2 %	1.1 %	1.0 %	0.9 %

FUENTE : Sociedades rurales, producción y medio ambiente año 2012 vol.12 núm 24sociedades rurales, producción y medio ambiente AÑO 2012 VOL.12 NÚM 24.