

Acuicultura con aguas residuales tratadas en las Lagunas de Estabilización de San Juan, Lima, Perú

Autor: Julio Moscoso Cavallini

**Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS)
Casilla Postal 4337, Lima 100, Perú
Los Pinos 259, Urbanización Camacho
Lima 12, Perú
Teléfono (51-1) 437-1077, Fax (51-1) 437-8289
Correo electrónico jmoscoso@cepis.org.pe**

Palabras claves ACUICULTURA, REUSO, ACUICULTURA

Resumen

En América Latina alrededor de 400 m³/s de aguas residuales no tratadas están siendo dispuestas en los ambientes acuáticos libres y en el riego de cerca de 500.000 ha, provocando problemas de salud y contaminación ambiental. Para cambiar esta situación es necesario incrementar el tratamiento de las aguas residuales y tecnificar su reuso con un criterio sanitario, pero acorde con las pobres economías de la Región. Este reuso permitiría generar nuevas fuentes alimenticias y puestos de trabajo, ampliando la frontera agrícola y mejorando la eficiencia en el uso del agua, especialmente en zonas desérticas.

Este documento describe las experiencias realizadas en 1983-1998 sobre acuicultura con las aguas residuales tratadas en las Lagunas de estabilización de San Juan, localizadas al sur de Lima, Perú.

Entre los principales logros se puede mencionar que el estudio ha permitido demostrar la rentabilidad de la producción de pescado apto para el consumo humano, establecer los límites de calidad para efluentes tratados destinados a la crianza de peces y las ventajas que ofrecen las lagunas de estabilización para alcanzar estos niveles, y elaborar un modelo computarizado para formular proyectos integrales de tratamiento de aguas residuales y granjas piscícolas comerciales en zonas tropicales y subtropicales.

Antecedentes

La Organización Mundial de la Salud (WHO, 1987) señala que en América Latina sólo el 10% de las aguas residuales colectadas en alcantarillados reciben algún tratamiento antes de ser dispuestas en los cuerpos de agua, como ríos y mares. Esto significa que alrededor de 400 m³/s de desagües vienen contaminando el medio ambiente y constituyen un vector de transmisión de parásitos, bacterias y virus patógenos. De otro lado, Bartone (1990) menciona que la escasez de agua ha determinado el uso de las aguas residuales en la agricultura, estimándose que actualmente existen en la Región cerca de 500.000 hectáreas regadas con estas aguas.

Por lo antes expuesto, queda claro que existen dos requerimientos paralelos: la disposición adecuada de las aguas residuales de la ciudad y su reutilización en beneficio del campo. Resulta indispensable interponer entre ambas necesidades el tratamiento de esta agua, que reduzca al mínimo el riesgo para la salud pública. Sin embargo, a pesar de las bondades demostradas por las lagunas de estabilización, aún son insuficientes las plantas que se han implementado en los países latinoamericanos, ya que los gobiernos no cuentan con los recursos económicos necesarios. De allí que los sistemas integrados tratamiento/reuso deban trabajar con gran eficiencia para lograr una rentabilidad, factor decisivo para promover la inversión de empresas públicas y privadas de la Región. Estos sistemas también permitirían generar nuevas fuentes alimenticias y puestos de trabajo, ampliando la frontera agrícola y mejorando la eficiencia en el uso del agua, especialmente en zonas desérticas.

Entre las instituciones que han incluido dentro de sus prioridades el adecuado manejo de los efluentes urbanos se encuentra el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), en donde se viene desarrollando una tecnología dirigida a transformar un problema en una oportunidad: el tratamiento de las aguas residuales urbanas para su aprovechamiento en actividades agropecuarias. El Programa de Tratamiento y Uso de Aguas residuales del CEPIS se inició hace 20 años con el propósito de contribuir a elevar la cobertura del tratamiento de las aguas residuales en la Región, por medio de tecnologías apropiadas que permitan la remoción de organismos patógenos y no sólo de materia orgánica. Durante el período transcurrido, el CEPIS y diversas instituciones peruanas han realizado una serie de experiencias sobre tratamiento y uso de aguas residuales en el Complejo Bioecológico de San Juan, localizado al sur de Lima, Perú. Una de ellas es el Proyecto de Acuicultura con aguas residuales tratadas en las lagunas de estabilización de San Juan, que se pretende describir en el presente artículo.

Una referencia importante de mencionar es que en los países con gran tradición piscícola se están incorporando las aguas residuales a los estanques de cultivo, sin ningún tratamiento previo (Edwards, 1985). Es el caso de Calcuta en la India, en donde existen más de 6.000 ha de estanques alimentados con aguas

crudas, lo que implica un riesgo sanitario aún no bien evaluado. Por el contrario, los países desarrollados están usando la crianza de peces como una forma de mejorar la remoción de materia orgánica, sin que importe la calidad del producto ya que no es destinado para el consumo humano directo. En la experiencia de San Juan que luego describiremos se adoptó una situación intermedia: las aguas residuales son tratadas en las lagunas de estabilización hasta alcanzar la calidad apropiada para obtener peces aptos para el consumo humano directo (Moscoso y Florez, 1991).

Objetivos

El objetivo del Programa de Investigación y Desarrollo Acuicultura con aguas residuales tratadas en las lagunas de estabilización de San Juan ha sido estudiar el reciclaje de estas aguas residuales a través de la acuicultura, basándose en criterios de bioingeniería, sanitarios y socioeconómicos, que permitan ajustar cada vez con más eficiencia este tipo de sistema integrado para obtener productos de alta calidad, de tal forma que esta tecnología pueda ser aplicada a los países de la Región.

Los objetivos específicos de cada fase fueron:

En la primera fase (1983-86):

- a. Evaluar la supervivencia y crecimiento de peces y camarones en las lagunas de estabilización terciarias, cuaternarias y pentarias de San Juan
- b. Elaborar un plan de investigación y el diseño de una Unidad de Acuicultura

En la segunda fase (1987-90):

- a. Implementar la Unidad Experimental de Acuicultura de San Juan y acondicionar el sistema de tratamiento para su abastecimiento de agua.
- b. Efectuar un manejo de las lagunas de estabilización que permita obtener un efluente adecuado para la acuicultura en términos de calidad sanitaria y de fertilidad.
- c. Determinar la máxima producción piscícola, al introducir a los estanques un efluente de lagunas de estabilización que estimule la productividad natural, sin generar condiciones ambientales adversas para los peces.
- d. Evaluar la calidad sanitaria de los peces cultivados y establecer protocolos que permitan certificar su aptitud para consumo humano directo.
- e. Conducir un estudio de mercado para evaluar la aceptación de la tilapia cultivada con aguas residuales tratadas en Lima Metropolitana.
- f. Conducir un estudio socioeconómico, para evaluar el potencial de desarrollo del sistema de tratamiento de aguas residuales/acuicultura en condiciones tropicales y subtropicales.

En la tercera fase (1991-98):

- a. Desarrollar un modelo para formular sistemas integrados de tratamiento/acuicultura y evaluar su factibilidad económica en condiciones tropicales y subtropicales.
- b. Mantener y mejorar la eficiencia de la Unidad de Acuicultura de San Juan, para demostrar la sostenibilidad de ese módulo demostrativo y poder transferir la tecnología.
- c. Efectuar un control especial de la calidad del proceso de tratamiento y los peces cultivados, para verificar la eficiencia del sistema después de 10 años de operación.
- d. Continuar las investigaciones para optimizar la productividad piscícola obtenida, mediante el manejo de diferentes variedades y especies de peces.

Metodología

Con el auspicio del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el Banco Mundial (BM), la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ), la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y el Gobierno Peruano, durante 15 años se realizaron en forma continua cultivos experimentales de diversas especies y variedades de peces con aguas residuales tratadas en lagunas de estabilización, abarcando las

épocas de calor y frío propias del clima subtropical de Lima.

Primera fase:

Los cultivos experimentales fueron realizados entre junio de 1983 y abril de 1984, utilizando las lagunas terciarias, cuaternarias y pentarias del sistema de tratamiento de San Juan. Se evaluó la supervivencia y crecimiento de los peces "Tilapia del Nilo" *Oreochromis niloticus* y "Carpa común" *Cyprinus carpio*, y del crustáceo "Camarón de Malasia" *Macrobrachium rosenbergii*.

Durante el período experimental se efectuó un Programa de monitoreo de las principales características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas del sistema. También se efectuó un estudio preliminar de la calidad sanitaria de los peces. Controles mensuales de peso y longitud en muestras representativas de la población experimental se realizaron durante todo el período. Al finalizar el cultivo experimental, todas las lagunas fueron drenadas completamente para cosechar los animales cultivados y estimar la supervivencia y rendimiento.

Segunda Fase:

Una de las recomendaciones de la primera fase fue implementar una Unidad Experimental de Acuicultura para continuar las investigaciones. Por tanto, CEPIS y el Servicio Nacional de Agua Potable y Alcantarillado (SENAPA) elaboraron los expedientes técnicos requeridos para proceder a una licitación pública. La Unidad fue construida por una Empresa privada contratada, bajo la supervisión de CEPIS y SENAPA.

Luego de poner en marcha la Unidad, cuatro experimentos consecutivos de 154 y 112 días fueron realizados en las estaciones de invierno y verano respectivamente, comprendidas entre julio de 1988 y abril de 1990. Poblaciones de Tilapia del Nilo con pesos iniciales promedios desde 13 hasta 77 g fueron cultivadas a densidades entre 0,2 y 5 peces/m². Una alimentación suplementaria, en base a subproducto de trigo fue intentada en los dos últimos experimentos.

Un paquete de 52 parámetros físicos, químicos y biológicos fue frecuentemente evaluado en el sistema de tratamiento, estanques de cultivo, lodos y peces durante los cuatro períodos experimentales. Entre los parámetros sanitarios se incluyeron: bacterias totales, coliformes totales y fecales, Salmonella, Clostridium sulfito reductor, bacteriófagos de E. coli, enteroparásitos, poliovirus, virus de la hepatitis, metales pesados, pesticidas y bifenílos policlorados.

También se estudió la concentración bacteriana en el agua de los estanques de cultivo con relación a la resistencia de los peces para impedir el ingreso de bacterias al músculo. La calidad de los peces fue evaluada de acuerdo a una calificación propuesta por Buras (1987), que establece como "muy buenos" a los peces con menos de 10 bacterias por gramo de músculo, son "aceptables" aquellos con 10 a 50 bacterias y son "rechazados" los peces con más de 50 bacterias.

Para el procesamiento de los resultados se estructuró una matriz de datos y se calculó:

- Tasas de supervivencia (%),
- Tasas de crecimiento (cm/día y g/día),
- Factor de condición (W/L^3),
- Índice de crecimiento (Pauly y Hopkins, 1983),
- Productividad (kg/ha/día), y
- Capacidad de carga (kg/ha).

La tasa de crecimiento fue tomada como variable respuesta y pareada con los promedios de cada uno de los parámetros monitoreados. Posteriormente, se encontraron las ecuaciones de regresión múltiple y fueron ajustadas a modelos como los descritos por Prein (1985) y Pauly et al. (1988).

Un estudio de mercado de tilapia en Lima Metropolitana fue realizado entre mayo y setiembre de 1990 con

el propósito de evaluar la aceptación del origen del producto "Tilapia viva criada con aguas residuales tratadas", el precio y la demanda del mismo. Este estudio comprendió cuatro etapas:

- Prueba de concepto (cualitativa), para recoger las primeras opiniones del público (amas de casa) acerca del nuevo producto "tilapia viva".
- Prueba de producto (cuantitativa), para evaluar la aceptación del producto por los clientes potenciales (amas de casa).
- Prueba preliminar de mercado, para introducir el producto en mercados de diferentes estratos sociales.
- Prueba definitiva de mercado, para evaluar la aceptación del origen del producto "Tilapia viva criada con aguas residuales tratadas", el precio y la demanda del mismo.

Los resultados obtenidos en los cultivos experimentales han permitido desarrollar un estudio socio económico, para evaluar el potencial de desarrollo del sistema de tratamiento de aguas residuales/acuicultura cuando se localicen en zonas subtropicales como Lima y proyectarlos también para zonas tropicales (con temperaturas altas todo el año). Comprende el dimensionamiento de unidades de producción modelos de tilapia, el cálculo de sus costos de inversión y operación y los flujos de caja para ambos contextos climáticos. La evaluación económica y financiera se realizó utilizando el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Como referencia para el análisis financiero, se consideró una línea crediticia de fomento. El análisis de sensibilidad tuvo la finalidad de evaluar el comportamiento del VAN frente a las variaciones del precio de venta, del costo de producción, del tamaño del proyecto y del costo del terreno.

Por último, en esta fase se evaluó el impacto social del proyecto respecto al potencial de desarrollo de los sistemas integrados, a la generación de empleo, a la ampliación de la frontera agrícola y al incremento de consumo per cápita de pescado. También se discutieron las restricciones para el desarrollo de la actividad, así como los riesgos sanitarios y efectos ambientales.

Tercera Fase:

Como resultado de los estudios antes mencionados, en 1991 se desarrolló un modelo interactivo en hojas de cálculo de **Lotus 123 en DOS**, para elaborar perfiles de proyectos sobre sistemas integrados de lagunas de estabilización y granjas de tilapia. Incorporando información de mercado, técnica y económica por medio de rutinas relacionadas finalmente permitía definir la rentabilidad económica.

El modelo inicial ha sido sustancialmente modificado en 1997, utilizando el ambiente **Visual Basic de Windows**, con el propósito de facilitar su manejo por parte de profesionales y proyectistas. Este modelo ha sido diseñado para recopilar, procesar y presentar información a nivel de perfil de proyecto, que sea útil en el dimensionamiento y costeo de granjas de tilapia con aguas residuales tratadas. También incluye la evaluación económica y financiera.

Por otro lado, en 1992 la Unidad de Acuicultura de San Juan fue ampliada para constituirse en una Unidad Demostrativa y asegurar su autofinanciamiento. Para ello se incorporaron tres estanques de producción de 12.000 (laguna terciaria), 11.000 y 15.000 m² cada uno, permitiendo así que los estanques más pequeños se dediquen a mantener y evaluar nuevas variedades de tilapia.

Durante el período 1991-97 se han efectuado controles rutinarios de los principales parámetros fisicoquímicos y sanitarios. Entre marzo y mayo de 1998 se ha efectuado un control especial de la calidad del sistema y los peces, que ha incluido 22 de los principales parámetros físicos, químicos y biológicos, con el propósito de confirmar la eficiencia del tratamiento después de 10 años de operación ininterrumpida.

En 1996 se importó desde Panamá dos líneas de tilapia con el propósito de mejorar la producción de la Unidad de Acuicultura: la tilapia roja y la tilapia plateada de Panamá. Ambas variedades fueron evaluadas mediante dos cultivos experimentales realizados entre 1997 y 1998 y que tuvieron las siguientes características:

a. Cultivo comparativo de las líneas de Tilapia roja y plateada

Durante 136 días comprendidos entre el 21 de noviembre de 1997 y el 6 de abril de 1998 se cultivaron 2,000 alevinos revertidos de ambas líneas por separado en 4 estanques de 400 m² cada uno y los peces fueron instalados a una densidad inicial de 1.25 peces/m², utilizando efluentes terciarios y una alimentación exclusivamente natural.

b. Cultivo comparativo de las líneas de tilapia plateada de Panamá y San Juan

En 180 días de cultivo comprendidos entre el 20 de abril y el 16 de octubre de 1998 se están cultivando 3,000 alevinos revertidos de tilapia plateada de las líneas Panamá, San Juan y una combinación de ambas. Se están utilizando seis estanques de 400 m² cada uno abastecidos con efluentes terciarios. Con densidades iniciales de 7.5 peces/m² se están cultivando los peces con alimento exclusivamente natural.

Resultados

1. De la primera fase:

Los cultivos experimentales preliminares permitieron definir que las condiciones ambientales de las lagunas cuaternarias eran satisfactorias para la supervivencia y crecimiento de los peces Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y carpa común (*Cyprinus carpio*), no así para la crianza del camarón de Malasia (*Macrobrachium rosenbergii*). También se definió que la tilapia era la especie más rústica y aceptada, por tanto fue la especie seleccionada para las siguientes investigaciones.

Los análisis microbiológicos, parasitológicos y toxicológicos preliminares mostraron que al parecer no existían impedimentos para destinar los peces al consumo humano directo (Moscoso y Nava, 1988).

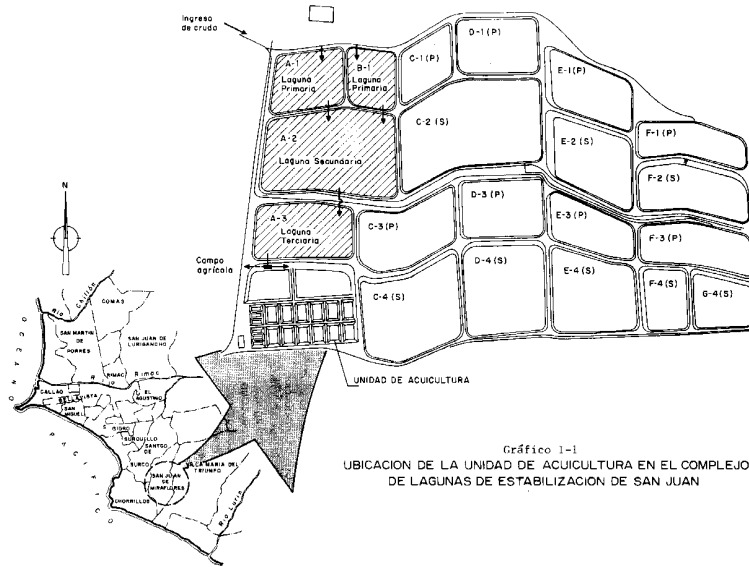
Las lagunas de estabilización no resultaron prácticas para el cultivo de peces, debido a que la cosecha final de los peces implicaba el completo drenaje de estos ambientes y por tanto paralizar temporalmente su capacidad para el tratamiento. Asimismo, se observó gran dificultad para extraer los peces por la gran acumulación de lodos que normalmente se producen en las lagunas. Por último, se pudo advertir que los cambios de caudales, que con cierta frecuencia ocurrían en el sistema, ocasionaban un deterioro de la calidad ambiental que afectaba el desarrollo de los peces y en ciertos casos producía su mortalidad. Por todo lo expuesto, finalmente se recomendó la construcción de estanques especialmente para el cultivo y que serían abastecidos con efluentes terciarios de las lagunas de estabilización.

Los resultados de esta fase preliminar fueron discutidos por dos Paneles de expertos en Lima, Perú (1984) y Bangkok, Tailandia (1987), recomendando en ambos casos implantar una Unidad Experimental de Acuicultura para continuar las investigaciones.

2. De la segunda fase:

2.1 Implementación de la Unidad de Acuicultura

La Unidad Experimental de Acuicultura fue construida en 1987 sobre suelos arenosos de una laguna secundaria ubicada en la parte baja del Complejo de Lagunas de Estabilización de San Juan y estaba constituida por las siguientes instalaciones (**Gráfico I-1**):



- un laboratorio temperado para la reproducción y reversión sexual de la tilapia,
- seis estanques de servicio de 100 m² cada uno,
- doce estanques experimentales de 400 m² cada uno, y
- dos estanques de producción de 2.700 y 3.200 m² cada uno.

El sistema de tratamiento acondicionado especialmente para abastecer dicha Unidad, consistió en una batería de lagunas de estabilización conformada por dos lagunas primarias operadas en paralelo y con un área combinada de 1,14 ha, conectadas a dos lagunas en serie secundaria y terciaria con superficies de 1,84 y 1,00 ha respectivamente. El aforo fue permanentemente ajustado de acuerdo a las condiciones climáticas, para mantener en el efluente con niveles menores a 10.000 coliformes fecales por 100 ml.

2.2 Eficiencia del sistema de tratamiento

En el Cuadro 1 se muestran los valores promedio de los parámetros fisicoquímicos medidos en el sistema de tratamiento, durante los dos años en que se realizaron los cultivos experimentales. El sistema de tratamiento permitió reducir los niveles de DBO total hasta rangos de 112 a 68 mg/l y el amonio total fluctuó entre 2,62 y 0,45 mg/l, valores tolerables para la tilapia del Nilo.

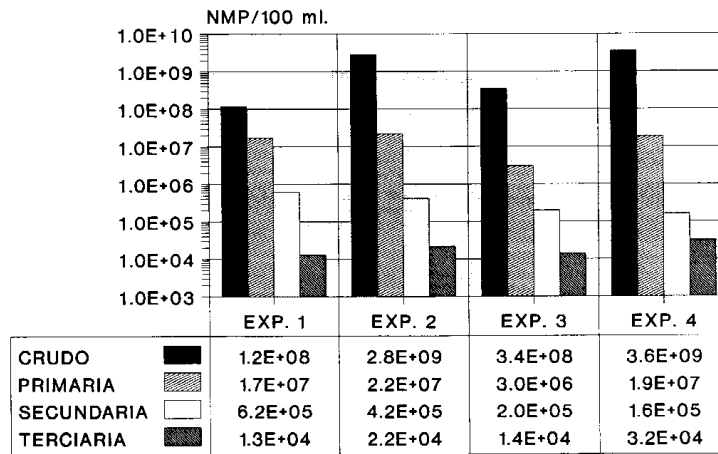
Cuadro 1 - Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos medidos en el sistema de lagunas de estabilización en todo el período experimental del 4 de julio de 1988 al 9 de abril de 1990 (mg/l)

Parámetro	Crudo	Primarias	Secundaria	Terciaria
DQO total	562	202	183	171
DBO 5 total	278	53	91	80
Sólidos suspendidos totales	270	96	111	103
Sólidos suspendidos volátiles	229	88	100	94
Fósforo total	7.70	4.73	4.76	4.54
Nitrógeno orgánico	19.25	8.16	10.58	10.55
Nitratos				0.72
Nitritos				0.43
Nitrógeno amoniacal	47.49	22.15	7.12	1.78
Alcalinidad total	260	210	154	135

Clorofila A (ug/l)	0	943	1139	1113
Coliformes termotol. (NMP)	1.72E+09	1.53E+07	3.40E+05	2.03E+04
<i>Vibrio cholerae</i> (NMP)	2.70E+03	9.20E+00	8.00E-01	1.60E-01
<i>Salmonella</i> (NMP)				4.30E+01

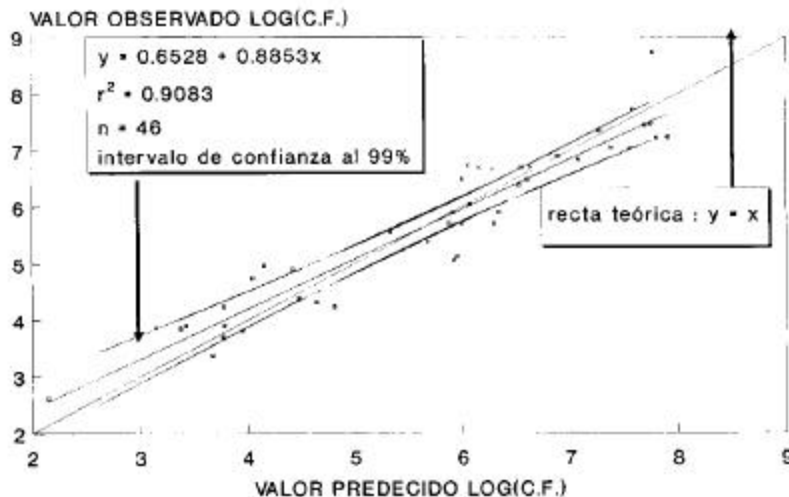
El sistema de tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización resultó ser eficiente para obtener una adecuada calidad sanitaria en el agua usada para la acuicultura. El **Gráfico I-4** muestran la remoción de coliformes fecales en el sistema. Por tanto, el programa de monitoreo del sistema de tratamiento estará orientado básicamente a garantizar la calidad sanitaria para el uso de los efluentes en acuicultura. Se recomienda incluir como mínimo las mediciones diarias de caudal y temperatura del agua (máxima y mínima), y mensuales de DBO₅ y coliformes fecales, tanto en el afluente como en el efluente del sistema.

GRAFICO I-4
REMOCION DE COLIFORMES FECALES EN EL SISTEMA DE ESTABILIZACION



También se ve en las lagunas y operación de donde la principal validación del modelo predichos con l

GRAFICO I-3
VALIDACION DEL MODELO DE PREDICCIÓN DE CALIDAD BACTERIOLOGICA DE EFLUENTES



de retención para el diseño de acuicultura, presenta los valores

2.3 Calidad sanitaria de los peces

Las características fisicoquímicas del efluente terciario utilizado para alimentar los estanques de acuicultura se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2 - Características fisicoquímicas del efluente terciario usado en los estanques de acuicultura durante los experimentos

Parámetro	Unidad	Experimentos			
		1	2	3	4
Temperatura	°C (a)	19	27	18	25
PH	(a)	7	10	9	10
Oxígeno disuelto mínimo	mg/l (b)		0	2	1
DQO total	mg/l	173	200	141	185
DQO soluble	mg/l	45	56	33	57
DBO total	mg/l	73	110	65	84
DBO soluble	mg/l	16	18	7	21
Sólidos suspendidos totales	mg/l	107	121	77	111
Sólidos suspendidos volátiles	mg/l	102	109	69	97
Alcalinidad	mg/l.	127	128	134	150
Clorofila-a				14	668
Fitoplancton (mat. Seca)	mg/l	104	61	76	45
Transparencia por Secchi	mm (b)		18	17	15
Fosforo total	mg/l	4.73	5.31	3.23	5.37
Ortofosfatos	mg/l (d)	1.48	0.99	2.01	1.65
Nitrógeno total	mg/l	14.90	15.00	9.80	15.30
Nitrógeno orgánico	mg/l	11.20	11.30	8.50	11.80
Nitrógeno amoniacal	mg/l	1.99	2.59	0.50	2.50
Nitrógeno de nitritos	mg/l	0.39	0.62	0.07	0.72
Nitrógeno de nitratos	mg/l	1.35	0.44	0.71	0.23

- (a) En el primer experimento se midieron entre las horas 9:30 y 11:00, mientras que en el resto se tomaron a las horas 6:00 y 14:00.
- (b) No se tomaron mediciones en el primer experimento.
- (c) Las muestras se tomaron en la superficie durante el primer experimento, mientras que en el resto se tomaron en la columna de agua.
- (d) El dato del primer experimento corresponde a las últimas ocho semanas.

Como se observa en el Cuadro 3, en tres experimentos se logró una calificación de "muy buenos" para el 100% de los peces. Sólo en el tercer experimento se encontró un 6% de peces calificados como "rechazables", según la clasificación propuesta por Buras (1987), que considera como "buenos" aquellos peces con menos de 50 bacterias por gramo de músculo. Esta situación que fue motivada por un incremento deliberado del nivel de coliformes fecales que sobrepasó 10^5 en el efluente. Ello permitió establecer el límite de calidad del efluente que debe utilizarse en el cultivo de tilapia. Rebasado el límite, el sistema inmunológico de la tilapia se debilita y las bacterias ingresan al músculo. También se pudo observar la capacidad de autodepuración de estos peces, siempre que se reduzca los coliformes al nivel recomendado durante un período mínimo de 30 días. Esto significa que en el caso eventual de un "accidente" de sobrecarga del sistema de tratamiento, la calidad sanitaria de los peces afectados puede recuperarse.

Cuadro 3 - Calidad sanitaria de los peces cultivados, según la clasificación propuesta por Buras (1987), en porcentaje

Calidad	Concentración de bacterias por gramo de músculo	Experimento
---------	---	-------------

		1	2	3	4
Muy bueno	0 - 10	100	100	86	100
Aceptable	10 - 50	0	0	8	0
Rechazable	Más de 50	0	0	6	0

En principio, la calidad sanitaria de los peces fue buena cuando el agua de los estanques tuvieron un nivel de coliformes fecales de $1 \times 10^4/100$ ml y también se ha encontrado una disminución de por lo menos un ciclo logarítmico entre la carga de coliformes fecales del efluente del sistema de tratamiento y los estanques de acuicultura. Por tal razón, el nivel máximo de coliformes fecales en el efluente debe ser de $1 \times 10^5/100$ ml. Este límite estaría un logaritmo por encima del recomendado por la Organización Mundial de la Salud (WHO, 1989), ya que correspondería a un valor de 1×10^4 para los estanques de peces.

Luego de dos años de control sanitario, no fue posible detectar presencia de bacterias, parásitos y virus patógenos en los peces cultivados. Los niveles de metales pesados, pesticidas y PCBs estuvieron muy por debajo de los límites establecidos. De acuerdo a los criterios de calidad para peces de aguas cálidas aplicado por el Comité Internacional de Especificaciones Microbiológicas de Alimentos (ICMSF, 1983), los peces cultivados en las condiciones experimentales fueron considerados aptos para consumo humano directo.

2.4 Producción de peces

La base de datos, ordenada de acuerdo a la biomasa inicial de peces, se muestra en el Cuadro 4. Estos resultados permiten afirmar que es posible configurar una actividad acuícola comercial, asociada al uso eficiente de las aguas residuales tratadas en lagunas de estabilización.

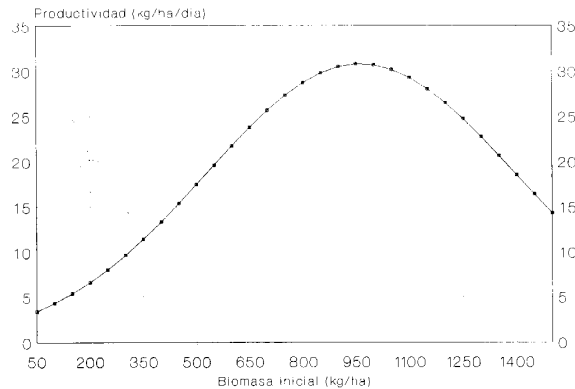
Cuadro 4 - Base de datos ordenada de acuerdo a la biomasa inicial

Experimento	Estanque	Densidad (#/m ²)	Biomasa (kg/ha)		Superviv (%)	Tasa crecimiento		Productiv Kg/ha/día
			Inicial	Final		cm/día	g/día	
2	3	0.20	47	436	91.9	0.114	1.91	3.47
2	9	0.20	51	483	100.0	0.108	1.93	3.86
2	10	0.20	51	411	90.5	0.105	1.80	3.22
4	6	0.20	129	468	82.4	0.088	1.95	3.02
2	12	1.00	202	1,898	91.9	0.104	1.66	15.14
2	2	1.00	236	1,637	84.1	0.100	1.53	12.51
2	11	1.00	238	1,895	99.5	0.098	1.49	14.79
2	8	3.00	672	3,262	95.0	0.071	0.82	23.12
2	5	3.00	684	3,476	82.5	0.081	1.05	24.93
2	4	3.00	708	3,379	89.5	0.078	0.91	23.85
4	3	1.50	792	3,080	95.5	0.080	1.45	20.43
2	6	5.00	1,025	4,610	87.6	0.064	0.76	32.01
2	1	5.00	1,090	4,042	82.6	0.062	0.68	26.35
2	7	5.00	1,150	4,170	86.2	0.061	0.66	26.97
4	4	1.50	1,389	3,260	85.2	0.064	1.45	16.70
4	5	1.50	1,515	3,386	84.1	0.064	1.49	16.71

En climas subtropicales como Lima, el crecimiento de Tilapia del Nilo es positivo y similar al obtenido en zonas tropicales, sólo durante los meses de verano. Tilapias revertidas con un peso inicial de 60 g pueden ser cultivadas durante 112 días de calor a densidades de 2 peces/m², para alcanzar un peso comercial de 250 g. La máxima productividad de los estanques de acuicultura durante el verano fue de 30,79 kg/ha/día, obtenida a partir de una biomasa inicial de 960 kg/ha (**Gráfico I7**). La máxima capacidad de carga permisible se ha fijado en 4.400 kg/ha, lograda

exclusivamente con el alimento natural producido en los estanques de cultivo con el aporte del efluente de las lagunas de estabilización. Dadas estas condiciones alta producción de algas entre los 1.573 y 718 mg/l de clorofila A, en la práctica se ha verificado que la adición de alimento artificial complementario no consigue elevar la capacidad de carga de los estanques. Pillay (1990) señala que en Brasil los estanques fertilizados con abonos orgánicos logran altas producciones de tilapia como 1,35 TM/ha, sin necesidad de alimento suplementario. Lovshin (1977) reporta que con poblaciones de tilapia sólo machos se ha logrado cosechar 3,2 TM/ha, utilizando alimentación suplementaria.

GRAFICO I-7
CURVA DE PRODUCTIVIDAD PARA O.NILOTICUS



En el período invernal, cuando la temperatura del agua desciende hasta 17°C, no es factible efectuar una campaña de producción, debido a la baja tasa de crecimiento que exhibe la tilapia. Balarin y Hatton (1979) señalan que entre 17,2 y 19,6°C se encuentra el límite inferior para posibilitar el crecimiento de la tilapia. Por ello, se propone almacenar los peces a manera de una pre-cría invernal hasta que mejore la temperatura.

La supervivencia obtenida en el segundo experimento fue de 88%, valor que puede considerarse como normal en el cultivo de tilapia. En cambio, los valores de 80 y 64% registrados en los cultivos de invierno, denotan la fragilidad de esta especie cuando es manipulada en épocas con bajas temperaturas.

La campaña de producción, en condiciones climáticas como Lima quedaría conformada en tres fases:

- Reproducción, reversión sexual y pre-cría estival, durante los meses calurosos de diciembre a abril, hasta lograr un peso de 2 g.
- Pre-cría invernal, durante los siete meses fríos de mayo a noviembre, hasta alcanzar un peso final mínimo de 60 g.
- Producción, durante cuatro meses calurosos de diciembre a marzo, hasta obtener el peso comercial de 250 g.

En zonas tropicales, la crianza se puede realizar en forma continua, acortando la segunda fase a tres meses. Estas tres fases serían ejecutadas en forma simultánea, para lograr hasta tres campañas escalonadas al año.

2.4 Estudio de mercado

Los resultados del estudio de mercado de la Tilapia viva, cultivada en aguas residuales en Lima Metropolitana, se pueden sintetizar en los siguientes puntos:

- Esta especie ha logrado ser introducida a nivel experimental en el mercado de Lima Metropolitana con excelentes perspectivas de venta, debido principalmente a que se oferta en vivo, característica que percibe el consumidor como evidencia de su frescura. Las características sensoriales (apariciencia, color, textura, sabor, etc.) de la tilapia indican que es un sustituto de la "cojinova" (*Serioella violácea*) y la "chita" (*Anisostrum scapularis*).
- El conocimiento del origen del producto (reuso de aguas residuales tratadas) no ha sido un factor disuasivo para su consumo. Más bien, una adecuada estrategia de información y difusión puede

incrementar sustancialmente la velocidad de venta e incorporar nuevos consumidores.

- Por su importancia relativa entre las opciones de comercialización, los mercados municipales de abasto constituyen el principal punto de introducción del producto. El 90% de los compradores regulares adquieren pescado en estos mercados. Los días sábados y domingos se comercializa hasta un 55% de la venta semanal de pescado. En estos días, la tasa de sustitución de otras especies por tilapia fue de 42% a un precio de venta de EUA\$1,00 por junio de 1991.
- El tamaño de comercialización recomendado fue de 250 g/pez. Sin embargo, es posible comercializar tallas menores, sin sufrir una pérdida significativa en el precio relativo.
- La demanda potencial de Tilapia en Lima Metropolitana para 1991 sería de casi 47.000 TM, siendo la demanda real (por sustitución) de 3,000; 2,200 y 1,300 TM si los precios fueran 0,80; 1,00 y 1,10 dólares americanos por kilo. Esta demanda real y para los mismos precios podría incrementarse a 4.600; 3.300 y 1.900 TM anuales en el año 2000.

En suma, el estudio ha permitido demostrar que la tilapia cultivada con aguas residuales tratadas constituye una nueva alternativa de consumo para el mercado de Lima Metropolitana, aún cuando sus hábitos alimenticios siempre han considerado el pescado marino.

2.5 Estudio socioeconómico

El estudio permitió diseñar, dimensionar y costear dos granjas comerciales de tilapia adaptadas a los contextos subtropical (como Lima) y tropical, cuyas características técnicas y económicas se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5 - Características técnicas y económicas de las granjas comerciales de tilapia

Parámetro	Unidad	Subtropical	Tropical
Producción anual	TM	52.8	63.4
Período de crianza	Meses	15	10
Campañas anuales	Número	1.0	2.4
Área total	Ha	16.2	9.0
Requerimiento agua	EUA\$	553,000	673,000
Costo construcción	EUA\$	114,000	76,000
Costo operación/año	EUA\$	17,000	16,400
Costo del agua	EUA\$/m ³	0.0062	0.0042
Costo producción	EUA\$/TM	397.30	306.60
VAN económico	EUA\$	12,800	68,200
VAN financiero	EUA\$	46,400	95,200
TIR económico	%	24.6	45.1

Una planta de tratamiento para climas subtropicales que reciba un caudal de 100 l/s, puede entregar aproximadamente 76 l/s de agua tratada para su uso en acuicultura, por un costo de EUA\$0,0062/m³. En un contexto tropical, en donde la mayor temperatura eleva la eficiencia del sistema, el costo se reduciría a EUA\$0,0042/m³. No se ha considerado el costo de terreno por asumirse la conveniencia de aprovechar áreas eriazas.

Cuando la producción de tilapia absorbe totalmente los costos de tratamiento del agua, el costo de producción por tonelada métrica de pescado asciende a EUA\$416,20, en granja subtropical con capacidad de 52,8 TM anuales. En cambio una granja tropical de 63,4 TM anuales, reduce sus costos a EUA\$306,60 por tonelada métrica.

Mediante el acceso a líneas crediticias de fomento, la granja subtropical antes citada reportará un Valor Actual Neto Económico (VANE) de EUA\$12.800 y financiero (VANF) de EUA\$46.400. La granja tropical también mencionada puede mejorar el VANE a EUA\$68.200 y el VANF a EUA\$95.200, incluso obtener valores positivos de VANF con tasas de descuento mayores a 39%, revelando así su alta rentabilidad.

El análisis de sensibilidad permitió determinar que las granjas pueden absorber hasta un 600 y 1.200% el costo del agua tratada, antes que el VANF se torne negativo en los contextos subtropical y tropical, respectivamente. Del mismo modo, ambos casos soportan un costo de terreno de hasta EUA\$ 0,50 y 1,70/m².

Las condiciones tropicales permiten obtener comparativamente mejores resultados que en el contexto subtropical, por su mayor capacidad de absorción de costos, de resistencia a menores precios en el mercado y porque reporta mejor rentabilidad.

América Latina descarga directamente alrededor de 400 m³/s de aguas crudas a sus ríos y mares. Estas descargas tratadas en lagunas de estabilización permitirían recuperar diariamente 480.000 TM de nitrógeno, 168.000 TM de fósforo y 9.400 TM de potasio, nutrientes esenciales para la agricultura. Los 240 m³/s correspondientes a las zonas tropicales de la Región permitirían desarrollar más de 70.000 ha de cultivo de peces que producirían 500.000 TM anuales con un valor bruto de 400 millones de dólares. Tal producción permitiría incrementar el consumo per cápita regional de pescado en 3 kilos anuales. También ocuparía a 700 profesionales, 260 técnicos y 8.400 obreros, además de los 25 millones de jornales anuales por concepto de comercialización.

El principal efecto del tratamiento de las aguas residuales sobre el medio ambiente es la reducción drástica de la contaminación de los cuerpos de agua, donde habitualmente se disponen. También se debe tener en cuenta la recuperación del agua y de nutrientes para la actividad agrícola. La incorporación de tierras a la agricultura permitirá formar y conservar suelos en áreas eriazas. Por último, estas actividades agrícolas producirán oxígeno que se incorporará a la atmósfera, mejorando el ambiente de las ciudades.

El riesgo considerado sería la contaminación del producto, ocasionada por un deficiente tratamiento de las aguas residuales, pero factible de ser controlado mediante una regulación de los caudales y una depuración de los peces.

3. De la tercera fase:

3.1 El modelo computarizado

Los resultados de la segunda fase permitieron elaborar un modelo en **Lotus 123** para dimensionar granjas comerciales en zonas subtropicales y tropicales. La temperatura elevada de estas últimas zonas permite reducir el período de crianza a siete meses, obteniéndose hasta tres campañas al año. Con el programa resulta fácil calcular, por ejemplo, que para lograr una producción de 106 toneladas anuales se requieren 32 ha en lugares con climas subtropicales, mientras que en los tropicales solo se necesita 18 ha, situación que también reduce el costo de producción. Este modelo también permite efectuar una evaluación económica. Es el caso de una granja tropical que produce 127 toneladas anuales y requiere una inversión de EUA\$193.000 con costos operativos anuales de EUA\$35.000, determinando un costo de EUA\$0,34/kg. El modelo también permite realizar un análisis de sensibilidad para estudiar la variación de la rentabilidad frente a diferentes costos de terreno, del tratamiento del agua, tasas de interés, etc. Así para precios de EUA\$1,00 a 2,00/kg determinan una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 35 a 83%, lo que indica la alta rentabilidad de estos proyectos y les permite competir con la pesca tradicional. Este caso no considera el costo del terreno, en el supuesto de aprovechar zonas eriazas existentes en ciudades localizadas en zonas áridas. Posteriormente el modelo fue convertido a **Quatro Pro para DOS y Excel para Windows**, en concordancia con la evolución de los programas de computación utilizados.

Finalmente, el modelo inicial ha sido sustancialmente modificado en 1997, utilizando el ambiente **Visual Basic de Windows**, con el propósito de facilitar su manejo por parte de profesionales y proyectistas. Se ha logrado elaborar un modelo útil para diseñar granjas de tilapia con aguas residuales tratadas a nivel de perfil de proyecto. Tiene como principales variables de contexto las características del crudo y la superficie disponible para tratamiento y varias opciones de cultivos para contextos subtropical y tropical. Una serie de premisas se han determinado a fin de simplificar las opciones del usuario. Muchos procesos y cálculos se han reservado con el objeto de simplificar la selección de opciones y obtener un reporte útil lo más rápidamente posible, dentro de un contexto válido y consistente.

3.2 Eficiencia del sistema de tratamiento

Durante el período transcurrido desde que se concluyó la etapa experimental de la segunda fase, el sistema de San Juan ha sido monitoreado con mediciones periódicas de los parámetros DBO_5 y coliformes fecales, que permitieron verificar la adecuada eficiencia del proceso de tratamiento. Solo en eventuales casos en que se presentaban diferencias notables de los valores, se procedió a evaluar algunos parámetros adicionales como nitrógeno amoniacal, fósforo y fitoplancton, para investigar las razones de los cambios ocurridos y tomar medidas correctivas.

Al cabo de 8 años se consideró conveniente efectuar un monitoreo especial de 22 parámetros, para evaluar si en el período transcurrido se habían producido cambios importantes en las características del crudo y/o en el proceso de tratamiento, que puedan afectar la calidad de los peces cultivados. El cuadro No 6 muestra los resultados (valores promedio) de los 16 principales parámetros físicos, químicos y biológicos medidos en el sistema de lagunas de estabilización en los periodos de 1988-90 y 1998.

La comparación de los valores entre los periodos evaluados permiten observar que la concentración de materia orgánica (DBO_5) se ha reducido en 26% como consecuencia de un mayor abastecimiento de agua en el Cono Sur de Lima. Sin embargo, la demanda química de oxígeno (DQO) solo se redujo en 13%, lo que ha determinado que la relación DQO/ DBO_5 cambie a 2,4 a 1 cuando el valor normal para desagües domésticos es de 2 a 1, tal como fuera comprobado en el período 1988-90. Esta nueva relación podría deberse el aporte de aguas residuales de origen agro industrial.

Cuadro 6 - Valores promedio de los parámetros físicos, químicos y biológicos medidos en el sistema de lagunas de estabilización en los períodos de 1988-90 y 1988

PARAMETRO	CRUDO		PRIMARIAS		SECUNDARIAS		TERCIARIA	
	1988-90	1998	1988-90	1998	1988-90	1998	1988-90	1998
DQO Total (mg/l)	562	491	202	225	183	156	171	162
DBO5 total (mg/l)	278	206	53	56	91	48	80	42
Sol. Susp. Totales (mg/l)	270	232	96	111	111	93	103	93
Sol. Susp. Volátiles (mg/l)	229	194	88	96	100	78	94	80
Fósforo Total (mg/l)	7.70	8.37	4.73	5.75	4.76	5.30	4.54	4.79
Nitrógeno total (mg/l)	66.8	49.8	30.4	29.7	17.7	19.1	12.4	10.9
Nitrógeno orgánico (mg/l)	19.3	14.4	8.2	8.7	10.6	8.7	10.6	9.9
Nitrógeno amoniacal (mg/l)	47.5	35.4	22.2	21.0	7.1	10.4	1.8	1.0
Nitritos (mg/l)							0.43	0.89
Nitratos (mg/l)							0.72	1.0
Alcalinidad (mg/l)	260	216	210	197	154	153	135	127
Clorofila A (ug/l)	0	0	943	713	1139	738	1113	727
Detergentes SAAM (ug/l)		4.8		1.8		0.6		0.5
Coliformes termotol. (NMP)	1.72E+09	8.05E+07	1.53E+07	1.52E+07	3.40E+05	2.98E+05	2.03E+04	1.54E+04
Vibrio cholerae (NMP)	2.70E+03	1.59E+04	9.20E+00	1.39E+03	8.00E-01	1.06E+02	1.60E-01	1.68E+01
Salmonella (NMP)		6.21E+02		2.48E+02		5.25E+00	4.30E+01	2.75E+00

Como consecuencia de la menor concentración de materia orgánica en el crudo, los estanques de peces también están recibiendo un aporte 50% menor. Aún cuando los niveles de fósforo y nitrógeno se mantienen casi igual, se observa un significativo descenso de 35% en productividad primaria (clorofila A). La presencia de una gran biomasa de algas azul verdes o cianobacterias al inicio y final del periodo evaluado en 1998 y que conformaron del 90 al 95% de las algas existentes, podría explicar la reducción de las algas verdes y flageladas que normalmente conforman el fitoplancton. Estas algas azul verdes se concentran en la superficie de las lagunas, limitando la penetración de luz al resto de la columna de agua. Las algas verdes (*Scenedesmus*, *Chlorella* y *Ankistrodesmus*) y las flageladas (*Chlamydomonas*) continúan siendo las especies dominantes como hace 8 años, en cambio, el alga azul verde *Coelosphaerium* recién apareció desde 1997.

La mayor dilución de las excretas en el crudo antes comentada también se comprueba con el descenso observado en la colimetría de $10E9$ a $10E8$. A pesar de esta menor carga bacteriana, se nota que el sistema de tratamiento ha perdido en algo su eficiencia para remover bacterias, ya que los valores del efluente terciario son similares a los que se lograban en 1988-90. Esta pérdida de eficiencia podría estar relacionada con la menor biomasa de fitoplancton que en 1998 presentan las lagunas y que antes se discutió. También se pudo observar un incremento de los niveles de *Vibrio cholerae* en el crudo, pero que no llegan a ser muy importantes en el efluente (17 UFC/l). En cambio, la concentración de *Salmonella* se ha visto reducida en los efluentes hasta un nivel en que prácticamente no se presenta.

Además de los parámetros discutidos anteriormente, también se determinó concentraciones de 37 enteroparásitos por litro de agua residual cruda, valor conformado por 19 protozoarios (18 *Entamoeba coli* y una *Giardia sp.*) y 18 helmintos (7 *Hymenolepis nana*, 5 *Hymenolepis diminuta* y 6 *Ascaris sp.*). Ninguno de estos parásitos fue recuperado en los efluentes primarios, lo que permitió verificar que se continúa logrando una remoción total de parásitos en las lagunas primarias, ya que siempre mantienen un periodo de retención mayor a 10 días.

Al igual que en la segunda fase, las concentraciones de metales pesados cadmio, cromo, mercurio y plomo medidas en este control especial no fueron significativas y se comprobó su remoción total en las lagunas primarias.

Un aspecto evaluado en el último control es la remoción de detergentes, que es mayor a 90% de la concentración que ingresa al sistema con el crudo. Valores de 0.5 ug de SAAM por litro en el efluente no representan ningún problema para los peces cultivados.

3.3 Calidad sanitaria de los peces

Los análisis microbiológicos efectuados en varios grupos de peces muestrados en los estanques de cultivo entre marzo y mayo de 1998 han permitido determinar una concentración promedio de 1.386 bacterias heterotroficas y 10 coliformes fecales por gr de pez. Estos valores están muy por debajo de los 10 millones de bacterias heterotroficas y 400 coliformes fecales considerado por el ICMFS como límites para peces de aguas cálidas. Asimismo, los valores encontrados también son menores a los valores de 5.664 y 408 registrados en 1988-90 para los mismos parámetros, indicando que actualmente la Unidad está produciendo peces con una calidad superior a la inicial.

Las determinaciones de Cadmio, cromo, mercurio y plomo mostraron que los peces no acumularon estos metales pesados, toda vez que las pequeñas concentraciones detectadas en el crudo son removidas completamente en el proceso de tratamiento.

3.4 Producción de peces

Se ha mantenido un programa de producción piloto continuo para atender el mercado local, habiéndose comercializado hasta la fecha más de 19,000 kg de tilapia entre 250 y 600 g cada una para consumo humano directo y 340,000 alevinos revertidos de tilapia para crianza en otras granjas del Perú. Esta operación permanente de la Unidad de Acuicultura también ha sustentado un importante programa de capacitación a profesionales, estudiantes universitarios y técnicos que laboran en otras plantas similares.

El programa de investigación efectuado durante los últimos años han permitido obtener los resultados que se muestran en el cuadro 7.

a. Cultivo comparativo de las líneas de Tilapia roja y plateada

Aun cuando no se encontró diferencias en la supervivencia de ambas líneas, la tilapia plateada mostró una tasa de crecimiento 2,44 veces mayor que la tilapia roja. También la productividad fue 2,6 veces mayor en la tilapia plateada, línea que alcanzó una producción de 24 kg/ha/día entre los 33 y 67 días. Estos resultados se deberían a que esta tilapia plateada esta mas adaptada al alimento natural, mientras que la roja de trabaja en Panamá y Costa Rica con solo alimento artificial.

b. Cultivo comparativo de las líneas de tilapia plateada de Panamá y San Juan

Los resultados preliminares hasta los 90 días de cultivo indican que la línea de Panamá esta mostrando una tasa de crecimiento 39% mayor que la existente en San Juan, posiblemente por una mejor selección genética de la primera y una mayor consanguinidad en la segunda. La combinación de ambas, si bien ha mejorado el crecimiento no alcanza las tasas de la panameña. En octubre se evaluará la supervivencia y se confirmará en forma definitiva la tendencia. Sin embargo, estos resultados ya nos hace suponer que la línea de Panamá remplazaría a la existente, con el propósito de mejorar la producción.

Cuadro 7 - Resultados del cultivo comparativo de las líneas de tilapia roja y plateada con aguas residuales tratadas en las lagunas de estabilización de San Juan (del 21 nov. 97 al 6 abr. 98)

Variedad	Unidad	Til. roja	Til. gris
Población inicial	No.	1000	1000
Población final	No.	696	671
Supervivencia	%	69.6	67.1
Densidad inicial	Peces/m ²	1.25	1.25
Densidad final	Peces/m ²	0.87	0.84
Peso inicial	G/pez	35.13	34.04
Peso 136 días	G/pez	130.6	266.43
Inc. peso	G/pez	95.48	232.39
Tasa crecim.	g/pez.día	0.7	1.71
Biomasa inic.	Kg/ha	439	425
Biomasa 136 días	Kg/ha	1,136	2,235
Inc. biomasa	Kg/ha	697	1,809
Productividad	Kg/ha.día	5.13	13.3

Resultados del cultivo comparativo de las líneas de tilapia de San Juan, Panamá y combinadas con aguas tratadas en las lagunas de Estabilización de San Juan (Del 20 Abr. Al 20 Jul. 1998)

Línea	Origen	San Juan	Panamá
Peso inicial	G	2.0	1.6
Peso a 90 días	G	29.6	40.0
Increment. Peso	G	27.6	38.4
Tasa crec.	G/día	0.92	1.28
Biomasa inic.	Kg/ha	150	120
Biom. a 90 días	Kg/ha	2,220	3,000
Increment. Biomasa	Kg/ha	2,070	2,880
Productividad	kg/ha.día	69.0	96.0

Conclusiones y recomendaciones

Entre los principales logros del estudio se puede afirmar que el tratamiento de aguas residuales en lagunas de estabilización es apropiado para obtener un efluente con niveles de coliformes fecales menores a 100000 NMP/100 ml, límite de calidad establecido para producir peces aptos para el consumo humano directo.

El sistema de producción de peces configurado comprende la siembra a inicios del verano de una población de "Tilapia del Nilo" *Oreochromis niloticus* a razón de dos peces de 60 g por metro cuadrado. Luego de cuatro meses, el sistema alcanza una capacidad de carga de 4.400 kg/ha de peces de 250 g y una productividad de 30,8 kg/ha/día, sin proporcionar alimento artificial.

El Estudio de mercado de la Tilapia realizado en Lima Metropolitana mostró una buena aceptación de la tilapia, no habiendo evidencias de rechazo en cuanto a la procedencia del producto. La demanda potencial mensual en 1991 fue de 180 TM a un precio de EUA\$1,00 por kilo de tilapia.

El programa de investigación efectuado durante los últimos años ha permitido mejorar la productividad del sistema. Así se ha podido observar que la carpa común (*Cyprinus carpio*) no es una especie tan resistente como la tilapia a las condiciones de las aguas residuales tratadas en San Juan. También se comprobó que la tilapia roja crece menos que la variedad plateada tradicionalmente usada en San Juan y que la introducción de una nueva línea de tilapia plateada procedente de Panamá está mostrando mejor crecimiento que la línea existente y por tanto sería reemplazada para mejorar la producción.

Actualmente el CEPIS está modelando unidades integradas de tratamiento y uso de aguas residuales, en donde se combinan diferentes componentes agrícolas, acuícolas y forestales con la finalidad de diversificar la producción para mejorar la eficiencia y reducir los riesgos de inversión.

Se debe continuar las investigaciones tendientes a optimizar los sistemas de cultivo de peces con aguas residuales tratadas, utilizando otras especies, evaluando la calidad de efluentes de sistemas diferentes a las lagunas de estabilización y los rendimientos en otros lugares con climas tropicales. Para ello, será necesario propiciar la implementación de unidades demostrativa a escala mayor y en zonas tropicales, en donde se asume una mayor productividad. Estas unidades también sustentarán un programa de difusión y

capacitación que asegure la replicabilidad de este esquema tecnológico alternativo.

Referencias

- Balarin J.; Hatton, J. **Tilapia, a guide to their biology and culture in Africa**. University of Stirling. Stirling, Scotland. 1979.
- Bartone, C. **International perspective on water management and wastewater reuse-Appropriate Technologies**. IAWPRC Biennial International Conference and Water Reuse Seminar, Kyoto, 29 July-3 August. 1990.
- Buras, N.; Duek, L.; Niv, S.; Hephher, B.; Sandbank, E. **Microbiological aspects of fish grown in treated wastewater**. Wat. Res. Vol. 21(1): 1-10. 1987.
- Cointreau, S.; Bartone, C.; Moscoso, J.; Nava, H.; Mocetti, N. **Aquaculture with treated wastewater: a status report on studies conducted in Lima, Perú**. Technical Note 3, UNDP/World Bank, Washington D.C. USA. 1987.
- Edwards, P. **Aquaculture: A component of low cost sanitation technology**. World Bank Technical Paper No. 36, Washington DC. 1985.
- International Committee of Microbiological Specifications for Food (ICMSF). **Técnicas de análisis microbiológicos**. Ed. Acribia. 2da. Ed. España. 1983.
- Moscoso, J. y Nava, H.L. **Reuse of treated ponds effluents for fishculture in Lima, Peru**. International Seminar on wastewater reclamation and reuse for aquaculture, Calcutta, 6-9 December. 1988.
- Moscoso J. y Florez. A. **Reuso en Acuicultura de las aguas residuales tratadas en las Lagunas de Estabilización de San Juan – Resumen Ejecutivo**. CEPIS-PAHO, Lima, Perú. 1991.
- Moscoso, J. Egocheaga, L y León, G. **Modelo para la formulación y evaluación económica y financiera de Sistemas Integrados de Tratamiento de aguas residuales y Acuicultura**. CEPIS-PAHO, Lima, Perú. 1992.
- Pauly, D., Hopkins, K. D. **A method for the analysis of ponds growth experiments**. ICLARM Newsletter. Vol 6 (1): 10- 12 pp. 1983.
- Pauly, D.; Moreau, J.; Prein, M. **A comparison of overall growth performance of tilapia in open water**. In Pullin,R., T. Bhukaswan, K. Tonguthai and J. Maclean (Eds.). The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings 15. 469-480 pp. Department of Fisheries, Bangkok, Thailand, and International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Phillippines. 1988.
- Pillay, T. **Aquaculture: Principles and practices**. Fishing News Books.6 1990.
- Prein, M. **The influence of environmental factors on fish production in tropical ponds investigated with multiple regresion**. Thesis work. University of Kiel. 91 pp. 1985.
- Sáenz, R. **Predicción de la calidad del efluente en lagunas de estabilización**. CEPIS/HPE/OPS/OMS. Lima, Perú. 1987.
- World Health Organization. **The International Drinking Water Supply and Sanitation Decade: Review of Mid-Decade Progress (as at December, 1985)**. Geneva. 1987.

- World Health Organization. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture**. Technical Report Series 778, Geneva. 1989.
- Yáñez, F. **Evaluation of The San Juan Stabilization Ponds**. Final Research Report of The first Phase. Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences and International Development Research Center of Canada, Lima. 1980.