

Las aguas residuales y su uso en la piscicultura: normas de Calidad y tecnologías de tratamiento

Carlos Arturo Madera P

Universidad del Valle, Escuela EIDENAR. AA 25147, Cali. cmadera@univalle.edu.co

1. INTRODUCCION

El crecimiento acelerado de la población, especialmente en países en vía de desarrollo, la contaminación de los cuerpos de agua superficial y subterránea, la distribución desigual del recurso y los graves periodos secos, han forzado a las agencias del agua a buscar nuevas e innovativas fuentes de suministro de agua (Asano, 1991). Las aguas residuales son convertidas en una fuente extra para la demanda del recurso, además el reuso de esta, ha sido indirectamente realizado a través de la historia humana. Este fenómeno ha llegado a ser más común con los procesos de desarrollo del alcantarillado y la urbanización.

Ahora si se tiene en cuenta que un tercio de la población mundial vive en países que sufren de carencia moderada a alta de agua, donde el agua de consumo es más del 10% de los recursos hídricos renovables y se espera que en el 2025 dos tercios de la población mundial esté en las mismas condiciones, esta situación ha creado que las agencias internacionales comiencen a establecer directrices y estrategias que apunten al uso optimo del recurso hídrico y donde las aguas residuales tienen un rol importante (Shafai, 2004).

Estos problemas están inmersos dentro del concepto de "Seguridad hídrica" el cual es definido por la misma Comisión con el siguiente enunciado: "La seguridad hídrica, a cualquier nivel, desde los hogares hasta el mundo en su conjunto, significa que toda persona tenga acceso suficiente al agua potable a un precio asequible que le permita llevar una vida limpia, saludable y productiva, al tiempo que se asegura que el entorno natural esté protegido y se mejore." (GWP, 2000).

Para la comisión, la seguridad hídrica y alimenticia (nivel de seguridad entre el agua y los alimentos) juega un rol determinante de tal forma que: "La agricultura utiliza más agua que cualquier otra área de la actividad humana. Por lo tanto, la seguridad hídrica y alimenticia están estrechamente relacionadas y sólo a través de acciones coordinadas puede conseguirse mayores cosechas de cada gota de agua utilizada en la agricultura, especialmente con vistas al crecimiento de la población. Una mayor productividad hídrica es un elemento clave tanto para conseguir la seguridad hídrica como la alimenticia". (GWP, 2000).

El suministro de agua y saneamiento, deben ser vistos como necesidades básicas y deben ser brindados con el propósito de apoyar las actividades productivas de las personas de escasos recursos, lo cual es el punto de partida para el alivio de la pobreza y el alcance de las metas globales del milenio ("Millenium Development Goals" – MDG's). La pregunta es, por su puesto, donde encontrar el agua requerida para las ciudades en rápido crecimiento. (Falkenmark, 2004)

Mientras que el suministro de agua para consumo humano y saneamiento tiende a capturar el 90% del interés general, la producción de alimentos necesita de dos órdenes de magnitud de más de agua y por lo menos, merece el mismo interés (Falkenmark, 2004). Durante la mayoría del siglo 20, el énfasis en el tratamiento del agua residual consistió en el abatimiento de la polución, la protección de la salud pública y la prevención de la degradación del ambiente, a través de la remoción de los materiales biodegradables, nutrientes y patógenos. (Asano, 2004) Durante las últimas décadas, el beneficio potencial del reuso del agua residual en vez de su disposición en el ambiente ha sido reconocido en muchos países industrializados.

De hecho, en muchas partes del mundo, no es práctico ni posible hacer uso del agua una sola vez (sin hacer ciclo). Por lo tanto, la recuperación y reuso del agua residual se han transformado en una de las opciones viables en el manejo integrado del recuso hídrico en áreas urbanas. (Asano, 2004).

La desnutrición en el mundo se asocia tanto a la disponibilidad como a la falta de calidad de alimentos. La carencia de proteína animal y sus precios relativamente altos para la mayoría de los mercados, hacen que se requiera de una producción más alta, una disminución de costos de producción y el foco en fuentes de proteína animal alternas. El pescado emerge como una de las principales fuentes de proteína de cualquier país en desarrollo. El pescado es particularmente nutricional, por su composición de grasas saturadas, bajo colesterol, y vitamina B12. (Shafai, 2004, citado por Abenzoza, 2006).

El uso de excretas y aguas residuales para la cría de peces es una practica milenaria, a través de la cientos de años en la India, China y sur -este de Asia, donde el consumo de pescado es una fuente alimenticia, alta en contenido de proteína, especialmente para las comunidades de bajos ingresos (Mara, 2004).

En su forma moderna, el reuso del agua residual en acuicultura y la irrigación de cultivos ofrecen beneficios atractivos, incluyendo el aumento de fuentes de agua para uso agrícola y acuícola, y disminuir la polución de fuentes superficiales de agua. (Edwards and Polpraser, 1987). Desde la antigüedad, la acuicultura ha estado usando deshechos, incluyendo aguas residuales domésticas para fertilizar los estanques y lagunas y aumentar la producción de peces. (Lin, 1954, Prowse, 1962, Borgese, 1975, citados por Allen, Hopher, 1976). Diferentes estudios (Schroeder, 1975, Carpenter, 1974 Coleman et al, 1974, Goldschmidt, 1970, citados por Allen, Hopher, 1976) han indicado que los peces mejoran el tratamiento de las aguas residuales en sistemas de lagunas. (Allen, Hopher, 1976).

Se ha observado que, donde hay lagunas con peces, que actúan como lagunas de oxidación mejoradas, un efluente de alta calidad se puede obtener para ser aplicado en cultivos agrícolas, además del cultivo de peces que existe en la laguna

de oxidación. Esto es una solución práctica de consideración. Por ello, estos sistemas integrados existen alrededor del mundo con bases informales.

Estos probablemente funcionan sin demasiados riesgos de salud pública. Por lo tanto, hay razones sustanciales para considerar que los esquemas cuidadosamente concebidos de producción de alimentos que emplean aguas residuales, son capaces de suministrar productos más seguros en cuanto a riesgos en la salud pública de los consumidores, que los productos provenientes de la pesca de cuerpos de agua naturales y contaminados. (Allen, Hephher, 1976).

Uno de los grandes retos que la Ingeniería debe afrontar para el uso de aguas residuales en piscicultura son los riesgos a la salud generados por la presencia de microorganismos patógenos como bacterias, trematodos y helmintos, además de sustancias como nutrientes (nitrógeno) y químicas como pesticidas, metales pesados entre otros, elementos estos que generan la necesidad de tratar el agua antes de ser empleada para alimentar estanques o lagunas con peces, de tal forma que minimice el riesgo de enfermar a través de la cadena de manejo de este producto, donde se destaca el cultivador del pescado, el transportador, manipulador, vendedor y consumidor final del pez.

En el tratamiento de aguas residuales se tienen dos grandes grupos como son los convencionales y los naturales. El primer grupo se destaca por ser altamente eficiente en remover materia orgánica y de ocupar áreas pequeñas pero con costos de inversión y operación y mantenimiento altos, además que no presentan buenas remociones de patógenos y nutrientes. El segundo grupo se destaca por tener altas eficiencias de remociones de materia orgánica, nutrientes y patógenos, pero las grandes demandas de áreas se convierten en una potencial desventaja de su uso.

Ante este panorama de escasez de agua, desnutrición y/o hambruna, contaminación del recurso hídrico y la enorme cantidad de agua residual generada, crean las condiciones para que iniciativas con enfoques holísticos y concepciones de ciclos cerrados comiencen a ponerse en marcha manteniendo una visión salubrista y ambiental. En este sentido, proyectos como tratamiento de aguas residuales y su reuso para piscicultura es una excelente estrategia.

En este documento, se discute de manera conceptual la importancia del mejoramiento de la calidad de agua residual para su uso en la cría de peces y su potencial impacto a la salud de la comunidad y complementado con un caso de estudio a nivel piloto en ginebra, Valle del Cauca.

2. MARCO TEORICO Y CONTEXTUAL

El ser humano extrae anualmente un 8% del total de agua dulce renovable y se apropia del 26% de la evapotranspiración anual y del 54% de las aguas de escorrentía accesibles. El control que la humanidad ejerce sobre las aguas de escorrentía es ahora global y el hombre desempeña actualmente un papel importante en el ciclo hidrológico. (ONU – UNESCO, 2003)

La captación de agua dulce en el mundo ha crecido de 3 790 km³ (de los cuales el se destinó para consumo 2071 km³ o el 61%) en el año de 1995, a 4 430 km³ (destinados para consumo 2304 km³ ó el 52%) en el año 2000. (ONU – UNEP, 2002). En el año 2000, cerca de la mitad del agua dulce mundial, y el 70% del consumo mundial se llevó a cabo en Asia, donde están ubicados la mayor cantidad de campos de irrigación. Se espera que en las próximas décadas, el mayor crecimiento de la captación se lleve a cabo en Sur África y Sur América (aumentando 1.5 a 1.6 veces) y el crecimiento más pequeño se llevaría a cabo en Europa y Norte América (aumentando 1.2 a 1.3 veces). (ONU – UNEP, 2002).

El 70% del total del agua requerida por la población es utilizada para la agricultura y el 30% remanente es empleado para consumo humano doméstico, comercial e industrial (FAO, 1993, citado en Valencia, 1998). Esta situación ha creado una sobre explotación del recurso hídrico (ej. agua superficial y subterránea) y el reuso de aguas residuales se convierte en una fuente alternativa para situaciones específicas. Tal como lo anota Mara et al. (1997), el actual reuso de las aguas residuales para la agricultura es atractivo para muchas autoridades locales, pero especialmente para aquellas regiones donde existe escasez de agua. El agua residual es reutilizada para diferentes propósitos en muchos lugares del mundo, y esto ha contribuido al desarrollo de estándares dirigidos para proteger el ambiente y la salud pública (Asano and Levine, 1996).

2.1 Aguas residuales en América Latina y Colombia.

Unos 2 millones de toneladas de desechos son arrojados diariamente en aguas receptoras, incluyendo residuos industriales y químicos, vertimientos humanos y desechos agrícolas (fertilizantes, pesticidas y residuos de pesticidas). Aunque los datos confiables sobre la extensión y gravedad de la contaminación son incompletos, se estima que la producción global de aguas residuales es de aproximadamente 1.500 kilómetros cúbicos. Asumiendo que un litro de aguas residuales contamina 8 litros de agua dulce, la carga mundial de contaminación puede ascender actualmente a 12.000 km³. Como siempre, las poblaciones más pobres resultan las más afectadas, con un 50% de la población de los países en desarrollo expuesta a fuentes de agua contaminadas. (ONU – UNESCO, 2003)

En América Latina y el Caribe, el servicio de alcantarillado presentaba al año 1995 una cobertura del 49% y 40 millones de metros cúbicos de agua residual eran descargados a fuentes hídricas (Cepis, 1995). Se estima que en el año 2000, más de cien millones de metros cúbicos de agua residual son descargados diariamente a drenes y menos del 10% son tratados antes de su descarga a ríos o usados para irrigación, equivalente a 8.400 tn de DBO₅ /día (CEPIS, 1995 citado en Peasey et al., 2000).

En esta región hay 275 ciudades costeras con más de 72 millones de habitantes que descargan agua residual cruda a playas turísticas, sustancias nocivas a peces y plantas en las áreas circunvecinas y con impactos sobre el mercado

turístico (CEPIS, 1995).

La disposición de aguas residuales sin tratamiento en lagos y ríos utilizados como fuente de abasto, representa un alto riesgo para la población debido a la pobre calidad microbiológica del agua y porque menos del 50% de los sistemas de potabilización en la región aplican la desinfección. En América, 16 grandes ríos no cumplen con las normas internacionales de calidad microbiológica como fuente de riego y cultivo de peces, esto es menos de 1000 UFC/100 ml (Cepis, 1995).

En Colombia la situación es similar, pues 67 m³/s de agua residual son descargados en los cuerpos de hídricos diariamente, pero solo un 8% es tratada (DNP, Documento Conpes 3177, 2002). En la región del Valle del Cauca, en el área de las cuencas andinas, solamente un 2% del agua residual doméstica es tratada, mientras el 98% restante es descargado en el río Cauca, la principal fuente para riego y empleado en muchas empresas de cría de peces (CVC, 2001).

Es claro que el reuso del agua residual tratada es una buena estrategia para reducir la presión existente sobre el recurso hídrico y por lo tanto contribuirá a cumplir con el objetivo fijado para el 2025, que señala que algo así como 310.000 personas requerirán del abastecimiento de agua mejorado por día durante el periodo 2001-2025 (OMS, 2000). El empleo de esta agua para la producción de proteína animal especialmente peces, igualmente aportará hacia el cumplimiento de la meta 1 reducir la hambruna mundial.

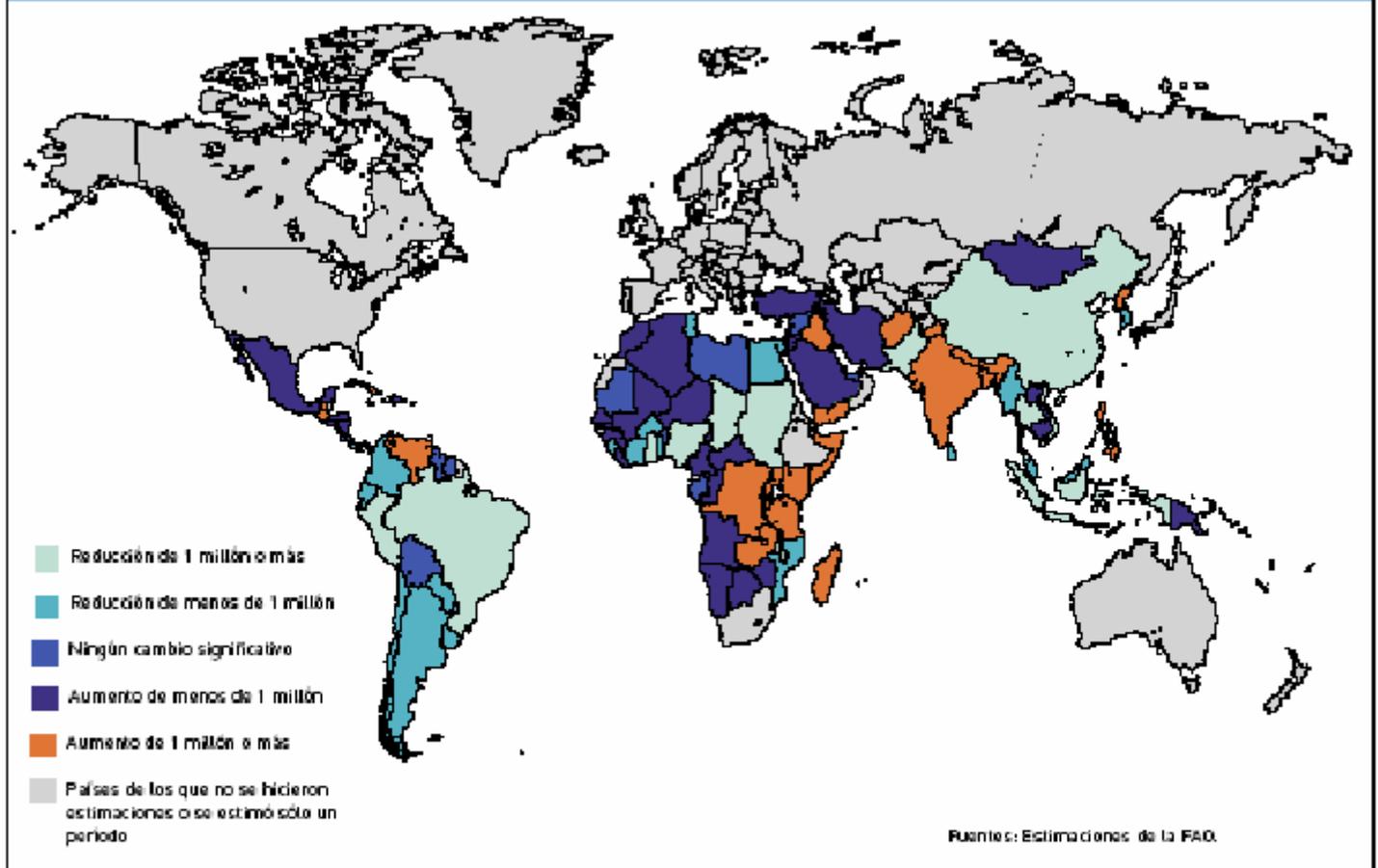
2.2 Disponibilidad de Alimentos en el Mundo

La tragedia del hambre en medio de la abundancia sigue siendo una dura realidad en el mundo de hoy. En los países más pobres, la mayoría de la población está afectada por el hambre. (ONU – FAO, 2001)

Las últimas estimaciones de la FAO (Figura 1) indican que, en 1997-99, había en el mundo 815 millones de personas subnutridas: 777 millones en los países en desarrollo, 27 millones en los países en transición y 11 millones en los países industrializados. Estudios recientes han demostrado que la pobreza, el analfabetismo, la malnutrición y la degradación ambiental pueden ser causas directas, lo mismo que efectos directos, de la inseguridad alimentaria. (ONU – FAO, 2001)

Figura 1. Numero de personas con desnutrición en el mundo

Figura 3. Grado de privación de alimentos: cambios en el número de personas subnutridas entre 1990-92 y 1997-99



Fuente: (ONU/FAO 2001)

Según la FAO (2001), un objetivo fundamental de la estrategia para la reducción de la pobreza sigue siendo el acceso a suministros alimentarios suficientes y el desarrollo rural. La seguridad alimentaria, consiste en conseguir tres condiciones:

- Debe haber alimentos en cantidades suficientes, teniendo en cuenta la producción interna, las importaciones comerciales y la ayuda alimentaria y las existencias nacionales.
- Los medios de subsistencia de los hogares deben ser adecuados para proporcionar a la gente acceso a los suministros alimentarios; y los suministros disponibles deben satisfacer las necesidades de alimentación y salud específicas de todos los miembros de la comunidad.
- La posibilidad de disponer fácilmente de agua inocua para los distintos usos domésticos, especialmente para beber, lavar y cocinar, es fundamental para la buena salud y la seguridad alimentaria.

En las próximas dos décadas, la acuicultura contribuirá a la producción global de alimento y ayudará más a la reducción mundial de la pobreza y de la inseguridad alimentaria. La producción de la acuicultura genera más alimento de base proteína animal que cualquier otro sector equivalente. Durante las últimas tres décadas el sector se ha expandido, diversificado y avanzado tecnológicamente aportando nuevos ingresos a nivel local, regional y global.

Por otro lado, la FAO ha reconocido la importancia de la acuicultura en la seguridad alimentaria. Una gran porción de de la producción mundial de pescado proviene de granjas a pequeña escala en países en desarrollo y en donde existen escasez de alimentos. (Shafai, 2004, citado por Abenoza, 2006).

2.3 Experiencias mundiales de uso de aguas residuales para piscicultura

El porcentaje de población que cuenta con servicio de tratamiento de efluentes previo a su descarga en los cursos de agua, es sumamente pequeño. El reuso de efluentes está experimentando un proceso de expansión que no se limita a las zonas áridas o semiáridas, sino que abarca área con recursos hídricos que son abundantes pero que no alcanzan a cubrir

una demanda alta. (GWP, 2000)

El uso de agua residual para fertilizar lagunas con peces inicia en Alemania al final del siglo 19 (Prein, 1998, citado CEPIS, 1995), en Calcuta india inicia en 1930 y actualmente existen largas experiencias instaladas en el Mundo (Edwards, 1985, citado por CEPIS, 1995).

Las aguas residuales domésticas, más que un problema, pueden generar múltiples oportunidades. Su composición permite generar valores agregados a través de su reuso. (Jana, 2001). El concepto de implementación de la acuicultura en el tratamiento de aguas residuales y reciclaje de agua y nutrientes, ha incrementado su popularidad en los últimos años, desde el punto de vista de que los métodos de acuicultura podían resolver simultáneamente problemas ambientales y sanitarios, al mismo tiempo que presentan una forma económica de producción de alimento. (Shafai, 2004).

La piscicultura alimentada por aguas residuales es un tratamiento productivo de aguas servidas, que se diferencia de los métodos convencionales de tratamiento biológicos, en que estos últimos están basados principalmente en procesos de degradación de materia orgánica, el agua residual es reutilizada en lugar de desecharse.

Esta actividad es una práctica antigua pero al a vez innovadora, pues integra exitosamente el reuso del agua residual. Consiste en un ecosistema acuático construido, que consta de uno o muchos cuerpos de agua, que es cargado con agua residual rica en nutrientes. El propósito central del sistema, es la asimilación de los nutrientes en la biomasa. Simultáneamente, los componentes orgánicos, son también consumidos o mineralizados, y en consecuencia el agua residual es tratada. El ecosistema construido, refleja procesos del ambiente natural y es de este modo estéticamente agradable. (Junge-Berberovic, 2001)

La piscicultura ha tenido un crecimiento grande en los recientes años en América Latina, que es reflejado en la producción de más de 160.000 tn de pez/año en Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Panamá y Perú. (Hernández, 1995, citado CEPIS 1995). Es fundamental destacar que esta actividad económica puede ser afectada por la calidad de agua que se emplea como fuente. Algunos caso importantes en el mundo son mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Experiencias mundiales en piscicultura con aguas residuales.

País	Caudal agua residual m3/d	Población generadora de agua residual	Area de lagunas Ha	Tipo de peces	Producción Tn-Ha/año
Alemania	ND	500.000	233	Carpa común (Cyprinus carpio).	0,5
China	ND	ND	8000	Carpa plateada (Hypophthalmichthys molitrix), y carpa común (Carassius auratus)	1,5 a 11
Calcuta	550.000		2500	carpas y tilapia	3 a 8
Vietnam	ND	ND	ND	Tilapia Mozambique (Oreochromis mossambicus) y tilapia nilo (O.niloticus)	4 a 7
Perú	ND	ND	1,44	Tilapia nilo (O.niloticus)	11,2

ND: No Disponible. Fuente Kumar, Siep, 2003, citado por Abenoza, 2006.

Situación Colombia.

La industria piscícola en Colombia produce 56.530 toneladas métricas de pescado de las cuales, 35.000 corresponden a tilapia (Alceste y Jory, 1998). La información reportada para 1992 en el Boletín de Estadísticas del INPA (1993), es de 23 932 toneladas anuales para los productos provenientes de la acuicultura. De esta cifra, el 46.17% corresponden a las tilapias (plateada y roja) con una producción anual de 11 050 toneladas. La producción de tilapia roja y plateada ha pasado de 300 toneladas al año en 1985 a 11 050 en 1992 (Rodríguez, et al., 1993).

En el año de 1979 se introdujo la tilapia plateada a Colombia (Oreochromis niloticus), la cual se difundió ampliamente y se constituyó en la base de la producción de aguas cálidas a nivel industrial a mediados y finales de la década de los ochenta (Rodríguez, et al., 1993). El cultivo de tilapia es hecho principalmente en jaulas flotantes y estanques localizados en áreas favorables para su cultivo (aguas con una temperatura de 23 a 32 °C). El producto, después de procesado (eliminación de vísceras, escamas y agallas) tiene un precio en el mercado de \$US 1.6 a 1.8 por kilo. Consecuentemente, el mercado emergente donde la tilapia se ha vuelto un producto de alta demanda, se ha mantenido al interior del país (Alceste y Jory, 1998).

El cultivo de peces (especialmente la tilapia) de agua dulce se ha incrementado significativamente durante los últimos años. Actualmente, 4 años de historia de piscicultura en Colombia han desarrollado operaciones de producción de tilapia en los departamentos de Huila, Tolima, Valle del Cauca, los Llanos orientales y la Costa atlántica. En estas áreas se concentra cerca del 90% de la producción de pescado de agua dulce, con aproximadamente 28.265 toneladas métricas por año, de acuerdo a los datos recientes del INPA (Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura). De todos modos, una producción significativa no se reporta porque es consumida localmente y no entra a los mercados formales y por ende a los registros oficiales, por lo tanto, se podría esperar que la producción real sea cercana a las 57.000 toneladas métricas por año. Cerca del 62% de esta producción corresponde a tilapia roja (Oreochromis sp.) y la mayoría se produce en jaulas (Alceste, Jory, 1998).

El tamaño comercial de la tilapia suele estar alrededor de los 350 gramos. Los precios locales están por encima de los que

prevalecen en las exportaciones internacionales, por lo que no existe prácticamente exportación de tilapia desde Colombia (Alceste, Jory, 1998). En Colombia, el cultivo de la tilapia roja se ha incrementado significativamente en los últimos años, y actualmente contribuye con el 3.3% de la piscicultura y los ingresos asociados pueden estar cerca de los \$US 194.000.000 por año. Por esto, las perspectivas para la ampliación de su cultivo son excelentes.

3 CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL PARA CULTIVO DE PECES.

Patógenos, metales pesados y toxinas son los aspectos más importantes a considerar para la salud pública. (Iqpal, 1999) Los riesgos de salud afectan principalmente a tres grupos de personas: En primer lugar, los trabajadores que tienen contacto directo o indirecto con el agua residual durante la operación y cosecha del pez; los transportadores; y manipuladores del pez y los consumidores.

Los trabajadores durante su rutina de operación y mantenimiento de los sistemas de agua residual, son los más vulnerables, este grupo se considera como el que más alto riesgo sanitario padece. Estos trabajadores deben mantener un alto nivel de higiene y protección personal y recibir un entrenamiento adecuado con el que comprendan el riesgo alto y puedan adoptar las medidas pertinentes. (Iqpal, 1999).

La primera impresión que se tiene de peces que son cultivados en lagunas alimentadas con aguas residuales es que estos son peligrosos y no son seguros de comer por la probabilidad de contraer enfermedades infecciosas causadas por microorganismos patógenos presentes en las aguas residuales.

En contraste, anecdotal evidencia y un creciente cuerpo de evidencia científica indican como los peces tienen un relativo bajo riesgo a la salud pública, incluso así el agua residual este altamente contaminada con carga toxicas provenientes de descargas industriales, contribuyendo de esta manera al bienestar de la población de bajo ingresos económicos de las zonas rurales y peri urbanas (Edwards, 2001).

Las concentraciones de patógenos entéricos en el agua residual cambian de acuerdo con la prevalencia e intensidad de la infección en la población, produciendo el agua residual y las condiciones socio económicas prevalecientes de tal población. Sin embargo, existen grandes cantidades de datos de estudios previos acerca de la presencia de patógenos en el agua residual. En la tabla 2, se muestra la cantidad típica de patógenos en el agua residual cruda.

Tabla 2: Cantidades de patógenos encontrados en aguas residuales crudas

Patógenos	Concentración /100mL
Parásitos:	
Huevos de helminto	1 - 800
<i>Entamoeba histolytic</i> cysts	0 - 10
<i>Giardia lamblia</i> cysts	50 - 10 ⁴
Bacterias:	
Coliformes fecales	10 ⁴ - 10 ⁹
Faecal streptococci	10 ⁴ - 10 ⁶
Shigella	1 - 10 ³
<i>Salmonella</i>	400 - 8,000
Viruses:	
Virus entéricos	100 - 50,000

El riesgo es definido como la exposición a la posibilidad de una infección que podría ocurrir, pero que no ocurre en el presente. Desde el punto de vista epidemiológico, el riesgo es definido como la probabilidad que un individuo desarrolle una enfermedad dada en un periodo de tiempo específico (Blumenthal et al., 1989).

En el pasado, la valoración de los riesgos a la salud provenientes de los desechos humanos se basó en criterios microbiológicos. Un "riesgo potencial" podría ocurrir cuando organismos patógenos fueran detectados en aguas residuales o cultivos, aún si no se hubieran detectado casos de enfermedades debido a tales microorganismos.

Los contaminantes en el agua residual tratada que son de significancia para la salud pública contienen agentes químicos y biológicos. Cuando el agua residual tratada es usada, los mayores riesgos agudos potenciales para la salud están asociados con la exposición a patógenos biológicos, incluyendo bacteriales, helmintos, protozoarios y virus entéricos, pero especial mención y cuidado debe ser realizado sobre los trematodos. En la Tabla 3 se muestran las importancias de los riesgos a la salud asociados al uso de aguas residuales en el cultivo de peces.

Tabla 3. Importancia relativa de varios riesgos a la salud por el uso de aguas residuales en el cultivo de peces.

Importancia Relativa	Riesgo a la salud	
	Bajo riesgo	Alto riesgo
Riesgo Biológico		
Microbios		
Bacterias		
Viruses		
Gusanos Trematodos		
<i>Clonorchis</i>		
<i>Opisthorchis</i>		
<i>Schistosoma</i>		
Riesgo Químico		
Metales pesados		
Hidrocarburos clorados		

Los trematodos tienen al caracol como el primer huésped intermediario. Los Schistosomas no tienen un secundario huésped, pero Clonorchis, tiene al pescado (usualmente miembros de la familia de la Carpa) y fasciolopsis (gigante intestinal) tiene vegetales acuáticos como huéspedes secundarios (Mara, 2004). Esta condición, hace que en zonas endémicas de Trematodos y en especial schistosoma se convierta en un riesgo para los trabajadores piscícolas y los otros dos trematodos para los consumidores del producto cultivado en las lagunas alimentadas con aguas residuales tratadas parcialmente o no tratadas.

Cáncer del tracto biliar (Carcinoma biliar) no es un resultado improbable de una clonorchiasis crónica y esta enfermedad tiene una alta prevalencia siempre y cuando la población consume pescado crudo cultivado en lagunas con aguas residuales (Mara, 2004). Esta especial e importante atención sobre los trematodos se fundamenta en las características de estos gusanos, ya que ellos son latentes, razonablemente persistentes, disponibles para multiplicarse y tienen una alta infectividad.

Adulto femenino del Schistosomas produce hasta 1000 huevos por día, adulto femenino del gusano Clonorchis hasta 4000 y del Fasciolopsis 25.000 huevos por día. Los huevos son expulsados a través de las excretas, pero el S Haematobium en la orina (Mara, 2004). Estas condiciones de los gusanos y su alto riesgo a la salud generaron que las directrices de calidad de agua se fundamentaran en estos trematodos y sea bastante restrictiva, lo que de manera precisa establece la necesidad de contar con sistemas efectivos de remoción de estos agentes patógenos.

Las normas microbiológicas establecidas por la Organización Mundial de la Salud (1989) para aguas residuales que se destinen al cultivo de peces, se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Calidad microbiológica de agua residual para reuso en piscicultura.

Microorganismos	Limite
Trematodos Humanos	0 huevos / litro
<i>E coli</i>	< 1000UFC/100 ml

Ahora si la E coli, esta por encima del limite, puede haber un riesgo que bacterias patógenas estén presentes, ya que estos microorganismos se encuentran no solo en la piel del pescado sino en su carne y órganos internos. (Buras et al, 1987; Pal, 1991, citados por Mara, 2004). Sin embargo, Moscoso (Cepis, 1995) encontró que peces cultivados en lagunas con aguas residuales con niveles de E coli hasta de 104 UFC/100 ml estaban libres de patógenos, lo que deja un potencial margen de seguridad con respecto a la norma de la OMS.

El otro caso también puede ocurrir, existe cierta evidencia que sugiere que puede darse cierta acumulación de organismos entéricos y patógenos, en el cuerpo del pez, cuando la concentración de coliformes fecales en el agua es menor a 1000 por cada 100 mililitros. De todos modos, no hubo datos epidemiológicos que sugirieran efectos en la salud en las comunidades que consumen peces cultivados en aguas residuales (Blumenthal et al., 2000).

El rol de los coliformes fecales como un indicador de la calidad del pez, ha sido cuestionado, pues estos no siempre son detectados en los músculos de los peces, mientras eran encontradas otras bacterias. Por lo tanto, el uso del recuento de bacterias (SPS) fue propuesto como indicador. (Blumenthal et al., 2000).

De otro lado, una barrera adicional de protección a la salud de la población por el consumo de pescados cultivados con aguas residuales es el control sobre la calidad microbiológica de los peces que se venden en los sitios públicos. En este sentido, se han desarrollado diversos estándares por cada país y mucha información producto de las investigaciones epidemiológicas ha permitido establecer algunos niveles de confianza para consumir dicho producto. En las Tablas 5 y 6 se presentan los estándares internacionales de calificación del producto y la norma Colombiana respectivamente.

Tabla 5: Estándares de calidad microbiológica del músculo de peces cultivados en aguas residuales según Buras (1987) (citado por Mara, 2004)

Concentración de bacteria en el músculo (gr)	Calificación
0-10	Muy Bueno
11-30	Medio
31-50	Pobre
> 50	Inaceptable

Tabla 6. Norma Colombiana de calidad microbiológica para alimentos destinados al consumo humano.

Microorganismo	Concentración en el músculo
NMP Coliformes fecales:	(4 – 100) NMP/g
<i>Salmonella</i> :	Negativo/25 g
? <i>Vibrio c.</i>	Negativo/25g
INVIMA Decreto 561 de marzo 8 de 1984	

Metales pesados y compuestos orgánicos

Las aguas residuales domésticas provenientes de centros urbanos tienen una alta probabilidad de contener grandes concentraciones de químicos como son metales pesados, hidrocarburos clorados al ser mezcladas con aguas industriales y también la presencia de nutrientes especialmente el nitrógeno.

Nunca un potencial riesgo para la salud ocasionado por la bio-acumulación de de toxinas debe ser desestimado inclusive si el pez posee proteínas especiales que enlazan y eliminan ciertos metales pesados o metabolizan toxinas. (Iqpal, 1999). Desde un punto de vista de salud pública, debe haber una separación estricta entre el agua residual industrial y la doméstica.

Las concentraciones de metales pesados en peces no exceden los niveles mínimos establecidos, incluso en casos donde el pez ha sido cultivado en aguas con altos contenidos de estos elementos. Los metales pesados son precipitados como sulfitos insolubles u óxidos hidratados bajo condiciones anaerobias, eso puede ocurrir en el agua cruda, y los niveles de reducción son más rápidos en aguas alcalinas como las launas utilizadas para cultivo de peces, donde el aumento del pH hace que la solubilidad del metal se reduzcan.

A pesar que el pescado absorbe los metales por las agallas y de los alimentos en el intestino ellos regulan la concentración de metales inorgánicos en el tejido muscular. Una excepción es el mercurio, el cual es pobremente regulado por el pescado en su forma orgánica, metil mercurio. Sin embargo este un problema que involucra especialmente a las especies viejas de grandes peces carnívoros, los cuales son la parte final de la gran red alimenticia, ya que los peces cultivados en estanques con aguas residuales son cosechados jóvenes y relativamente pequeños haciendo menos probable esta bioacumulación (Edwards, 2001).

Pescados criados en aguas contaminadas mostraron bajos niveles de hidrocarburos clorados en sus tejidos. Sin embargo es recomendable que estos compuestos sean considerados como riesgosos por la limitada cantidad de información científica disponible (Edwards, 2001).

De otro lado, existen otros elementos que más allá de atentar contra la salud de la población colocan en riesgo la eficiencia y efectividad del sistema de cultivo de peces, debido a que pueden generar problemas sobre el pescado generando de esta manera reducciones drásticas de la productividad, uno de los objetivos fundamentales al utilizar agua residual para la cría de peces.

Existen tres situaciones las cuales contribuyen con la mortalidad de peces y estas situaciones al menos dos ellas están asociadas a sustancias presentes en las aguas residuales. La primera causa de mortalidad es la deflexión de oxígeno generada por un aumento de la carga orgánica del agua que alimenta el sistema de lagunas, ya que esta materia orgánica hace que los microorganismos en su descomposición demanden oxígeno; la segunda es la reducción del oxígeno en el agua producto de la respiración de una gran cantidad de fitoplancton, condición que se presenta en horas de la noche; y la tercera es la alta concentración de amonio, que esta presente en el agua de alimento al sistema de lagunas. Estas tres causas han sido reportadas en estudios de cultivos de peces con aguas residuales.

Amonio en su forma no ionizada (NH₃) es tóxico para el pez en la concentración de 0,2 a 2, 0 mg/l. Ahora concentraciones bajas de amonio genera poca población de algas y se reduce la productividad de la laguna, altos niveles de amonio y la población de algas crece enormemente y el oxígeno puede reducirse en las horas de la noche. Investigaciones han mostrado que lagunas con una carga de 4 kg de N total/ Ha es adecuada (Mara, 2004)

4. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

El tratamiento del agua residual genera un efluente de suficiente calidad, por lo cual debería ser usado de manera benéfica y no desperdiciado (Asano, 1998, citado en Blumenthal et al., 2000). Adicionalmente, el reuso del agua residual tratada ha sido exitoso para la agricultura y piscicultura y se han reportado incrementos de la producción.

Para lograr las metas de calidad del agua, se requiere desarrollar y poner en operación una gran infraestructura en el país. Antes de elegir un sistema de tratamiento de las aguas residuales, es necesario definir los "objetivos del tratamiento". Para propósitos de piscicultura, existen dos objetivos que se deben considerar: la calidad química y los riesgos a la salud pública.

Durante el último siglo, se hicieron avances tecnológicos en el procesamiento físico, químico y biológico del agua y el agua residual. La primera parte de este siglo fue llamado "La Era del Reciclaje, Reuso y recuperación del Agua Residual" (Asano y Levine, 1996). Las tecnologías fueron desarrolladas acorde con los propósitos de reuso, los cuales iban desde la remoción de materia orgánica para el uso de los paisajes hasta un nivel de riesgo cero a la salud para el reuso con fines de potabilización. Estos avances han resultado en un incremento en la implementación de proyectos de reuso de agua residual en diversas regiones en el mundo y también en la evolución de nuevas alternativas de reuso.

Desde el marco de la sostenibilidad, el tratamiento de las aguas residuales en países en desarrollo, deben tenerse en cuenta una serie de aspectos importantes, entre otros se tienen:

- Bajo costo de inversión inicial y operación y mantenimiento.
- Simplicidad en la operación y mantenimiento.
- Bajo y preferible consumo de energía, esencial para bajo costo O&M
- Bajo y preferible uso de desinfectantes químicos.
- Baja producción de lodos.
- Alta eficiencias y la disponibilidad para producir un efluente con adecuada calidad.

Estas consideraciones pueden ser muy evidentes, pero a pesar de esta condición, dichas consideraciones no son tenidas en cuenta por los profesionales de los países en desarrollo, quienes por desconocimiento o por importaciones de tecnologías mecanizadas producto de posibles formaciones y/o pasantías en países desarrollados consideran que el grupo de las convencionales son la mejor alternativa para sus países ya que estas funcionan adecuadamente en las naciones ricas y bajo esta premisa consideran que en países con menos ingresos también van a funcionar. Esta situación es un gran error, pues como se muestra en la Tabla 7, las prioridades para los dos grupos de naciones son diferentes.

Tabla 7 Comparación de la importancia de factores en tratamiento de aguas residuales en países desarrollados y en desarrollo.

Factor	Países industrializados	Países en desarrollo
Eficiencia	C*****	****
Confiabilidad	C*****	C*****
Producción de lodos	***	C*****
Requerimientos de área	C*****	**
Impacto ambiental	****	**
Costo de operación	***	C*****
Costo de inversión	**	C*****
Sostenibilidad	***	C*****
Simplicidad	*	C*****

C: Crítica; ***** Extremadamente importante hasta * No impacto.
Fuente (Von Srpeling, 1996^a adaptado por Mara, 2004).

De la tabla anterior, se puede evidenciar que los dos grupos de naciones tienen diferentes percepciones de lo que es importante en el tratamiento de aguas residuales. Lógicamente, existen ciertas circunstancias en donde algunas tecnologías pueden ser apropiadas, es el caso de las megas ciudades.

Para el tratamiento de las aguas residuales teniendo en cuenta las calidades mínimas del agua para su uso en la piscicultura, existen dos grupos de paquetes tecnológicos que están siendo utilizados mundialmente, pero que las diferencias entre ellos deben ser muy bien analizadas de tal forma que se pueda escoger e implementar la opción técnica acorde al contexto social, económico, cultural y ambiental de la zona. Las diversas tecnologías de tratamiento de agua pueden ser divididas en:

Los sistemas mecanizados o convencionales son el primer grupo donde se destacan los lodos activados, filtros percoladores, aeración extendida y laguna aeradas y biodiscos se destacan por su gran eficiencia en remoción de materia orgánica ocupando pequeñas áreas pero demandan grandes consumos de energía.

El segundo grupo son los sistemas naturales (denominados también ecotecnologías) donde se destacan las lagunas de estabilización, los sistemas de plantas emergentes (humedales artificiales) y acuáticas (duckweed). Estas tecnologías además de remover materia orgánica y nutriente eliminan con altísimas eficiencias los microorganismos patógenos, condición que en el primer grupo no se presenta.

Dado que las grandes experiencias de reuso de aguas residuales en piscicultura se han construido en países tropicales de bajos ingresos y son en estas naciones donde las tecnologías no convencionales tienen altas condiciones de ser empleadas como mejoradoras de calidad de agua. Desde esta perspectiva, se hace una pequeña discusión conceptual sobre este grupo de tecnologías.

4.1 Sistemas naturales.

Los Sistemas Naturales de tratamiento (SN) están surgiendo como alternativas de bajo costo, fáciles de operar y eficientes en comparación con los sistemas de tratamiento convencional para una amplia gama de aguas residuales. Estos sistemas tienen mundialmente una ventaja es que estos no requieren grandes cantidades de energía como insumos, contrario a los sistemas mecanizados.

Así mismo, futuros beneficios pueden obtenerse, en los sistemas naturales, es posible el reuso del agua, nutrientes y energía del agua, cerrando el ciclo del agua y nutrientes. Sin embargo, al comparar sistemas mecanizados con naturales, se puede ver que estos últimos requieren de grandes extensiones de tierra, y la operación de los sistemas es generalmente controlada por factores ambientales. Así mismo, la alta concentración de algas, en el efluente, las pérdidas por evaporación, los olores, mosquitos y la sensibilidad de las algas a materiales tóxicos presente en el agua residual cruda son también otros factores pequeños de desventajas de dichos sistemas cuando se emplean para el tratamiento de aguas residuales.

En este grupo se destacan los siguientes sistemas: Lagunas de estabilización (Anaerobia, Facultativa y Maduración);

Humedales artificiales de flujo subsuperficial y superficial; lagunas con lenteja de agua (Duckweed) y reactores anaerobios como el UASB (Manto de lodos anaerobio de flujo ascendente).

Lagunas de Estabilización (LE): Son sistemas poco profundos hechos por el hombre en donde después de un tiempo de retención de varios días (mayor a las horas en sistemas convencionales) se genera un efluente bien tratado. Este sistema se compone de una serie de lagunas el cual inicia con la laguna anaerobia, seguida de la facultativa y acorde a la calidad deseada se puede complementar con laguna de maduración.

Una de las grandes ventajas de este sistema es su alta eficiencia para remover materia orgánica, nutriente y patógena con cero usos de energía externa que se traduce en bajo costos de operación y mantenimiento. En las Tablas 8, 9 y 10 se muestran estas ventajas.

Tabla 8. Consumo de energía para diferentes sistemas de tratamiento.

Sistema de tratamiento	Consumo de energía (kWh/hr)
Lodos activados	10.000.000
Lagunas aireadas	8.000.000
Biodiscos	1.200.000
Lagunas de estabilización	no

Fuente: Middlebrooks et al, 1982. citado por Mara, 1997. Los datos son calculados para un caudal de 3780 m³/d.

Tabla 9. Eficiencias de remoción de patógenos alcanzadas en Lagunas de Estabilización (LE) y Sistemas Convencionales (SC).

Patógeno	Remoción en LE	Remoción en SC
Bacterias	Hasta 6 unidades log*	1-2 unidades log
Viruses	Hasta 4 unidades log	1-2 unidades log
Quiste de protozoarios	100%	90-99%
Huevos de Helmintos	100%	90-99%

1 Unidad log = 90% de remoción; 2= 99%; 3=99,9% y así sucesivamente.
Fuente: Mara, 2004.

Tabla 10. Costos y requerimientos de área para LE y otros sistemas

Ítem	LE	Laguna aireada	Aeración extendida	Biofiltros
Costo de inversión inicial (millones US \$)	5,68	6,98	4,80	7,77
Costo operación (millones US \$)	0,21	1,28	1,49	0,86
Beneficios por irrigación (millones US\$)	0,43	0,43	0,43	0,43
Beneficios por piscicultura (millones US \$)	0,30	0,30	-	-
Valor presente neto (millones US \$)	5,16	7,53	5,86	8,20
Requerimiento de área (Ha)	46	50	20	25

Información calculada para una población de 250.000 habitantes, una dotación de 120 l/hab-d, una DBOs de 40 gr/d y una remoción de 3 unidades log de coliformes fecales y una tasa de descuento del 12%. Fuente: Arthur, 1983, citado por Mara, 2004.

Las Tablas anteriores muestran las bondades del sistema de LE, las cuales lo colocan como una de las mejores opciones para los países tropicales y una excelente elección para proyectos donde se desea utilizar el efluente en el cultivo de peces, situación que ha sido mostrada igualmente por las recientes recomendaciones de la OMS en calidad microbiológica de las aguas residuales para uso tanto en agricultura como en piscicultura donde las lagunas son la opción ideal para alcanzar dichos estándares.

En el caso especial de Colombia, datos del ya desaparecido ministerio de Desarrollo Económico, hoy en día incorporado al ministerio de Vivienda, Medio Ambiente y Desarrollo Territorio (MAVDT), muestran los siguientes costos para los sistemas de lagunas y lodos activados:

Lagunas de estabilización: US \$ 30/persona
Lodos Activados: US \$ 130/persona

Para poblaciones menores de 250.000 habitantes, el MAVDT exige un minucioso estudio y evaluación de la alternativa de sistemas naturales para el tratamiento de aguas residuales, pues se corre el riesgo de no ser beneficiado con créditos de financiación para este tipo de obras.

Laguna Anaerobia (LA): usualmente es la primera barrera en una serie de lagunas. Estas son de 2 a 5 m de profundidad y reciben una alta carga orgánica (usualmente mayor a 100 g DBO/m³-d, >3000 kg/Ha-d). Esta laguna no contiene

oxígeno disuelto ni algas. La función primaria de esta unidad es remover DBO. Lagunas anaerobias trabajan de manera excelente en climas calidos, bien diseñadas y sin soportar sobre cargas pueden remover más de 60% de la DBO presente en el agua residual. El Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) es corto, 1 días es adecuado, pero ahora existen mejoramientos de esta unidad que han reducido el TRH hasta 12 horas manteniendo la eficiencia de remoción, unidades conocidas como lagunas de alta tasa. (Peña, 2002).

Laguna Facultativa (LF): esta unidad usualmente recibe el efluente de la LA, son diseñadas para remover DBO sobre la base de bajas cargas orgánica superficial (100-400 kg DBO/Ha/d) para permitir el desarrollo saludable de algas. Estas unidades trabajan con profundidades entre 1 a 1,8 m, pero nunca menores de 1 m, pues vegetación emergente puede aparecer. TRH de 5 días son adecuados para el diseño de esta laguna.

En LE se alcanzan remociones finales de DBO del orden del 80 al 90%, de nitrógeno 80% o más y patógenos más de 3 unidades logarítmicas. Estos valores permiten que se puedan alcanzar los estándares de calidad exigidos para aquellas aguas que vayan a ser reusadas en el cultivo de peces, mostrando de esta manera que este tipo de lagunas son una excelente opción no solo para tratar el agua residual si no para darle un valor agregado a dicha agua y generar condiciones de su uso en otros fines, que otro tipo de sistemas no lo pueden generar.

Laguna de Maduración (LM): Son lagunas poco profundas (1-1,5 m) reciben el efluente de la LF, generalmente deben ubicarse varias LM en serie para alcanzar los niveles de remoción deseados, en particular de patógenos. La función principal de esta unidad es la remoción de microorganismos patógenos presentes en el agua residual y estas son extremadamente excelentes en esta función cuando han sido bien diseñadas. Así mismo contribuye a la remoción de nutrientes (nitrógeno y fósforo).

Sistemas de humedales artificiales. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales basados en macrofitas pueden ser definidos como SN en los cuales las macrofitas acuáticas (plantas que crecen en suelos saturados de agua) tienen una función vital en relación con la depuración del agua residual. Los humedales están entre los ecosistemas más importantes de la tierra por sus condiciones hidrológicas, y porque constituyen un enlace entre sistemas terrestres y acuáticos.

En este grupo se encuentran los humedales con plantas flotantes como el sistema duckweed (lenteja de agua) y los de plantas emergentes como los humedales de flujo sub-superficial.

Duckweed: Las lagunas cubiertas con lenteja de agua son soluciones de bajo costo en inversión inicial y en mantenimiento. No requieren componentes importados ni insumos, y son robustos en su capacidad de operación. Además pueden producir un alcance en el tratamiento similar al de un tratamiento terciario, el cual es igual o superior al de otros sistemas de tratamiento convencionales (Skillicorn, et al., 1993).

Los sistemas de tratamiento de agua residual que emplean lenteja de agua, remueven, por bio-acumulación, hasta el 99 por ciento de los nutrientes y sólidos disueltos contenidos en el agua residual. (Skillicorn, et al., 1993). Las lagunas cubiertas por lenteja de agua, se diferencian de las lagunas facultativas convencionales en:

1. Alcanzan una remoción significativa de remoción de nutrientes del flujo de agua residual.
2. Alcanzan una remoción importante de sustancias consumidoras de oxígeno y organismos patógenos que en una facultativa no se alcanzan a remover en tan alta proporción.
3. No presentan la desventaja de una producción importante de sólidos suspendidos en forma de algas.
4. Requieren de menos área para alcanzar un mayor grado de tratamiento.

Una planta típica de tratamiento de aguas residuales que emplea lagunas cubiertas por lenteja de agua, produce hasta una tonelada de plantas por hectárea (peso húmedo) diariamente. (Skillicorn, et al., 1993)

Figura 2. Sistema Duckweed y laguna de estabilización, Ginebra valle.



Humedales artificiales: Los sistemas de tratamiento de aguas residuales basados en macrofitas pueden ser definidos como SN en los cuales las macrofitas acuáticas (plantas que crecen en suelos saturados de agua) tienen una función vital en relación con la depuración del agua residual. Los humedales están entre los ecosistemas más importantes de la tierra por sus condiciones hidrológicas, y porque constituyen un enlace entre sistemas terrestres y acuáticos. Un humedal artificial (Wetland) es un sistema complejo de medio saturado, diseñado y construido por el hombre, con vegetación sumergida y emergente y vida animal acuática que simula un humedal natural para el uso y beneficio humano. Existen básicamente dos tipos de humedales de flujo superficial (HFS) y flujo Subsuperficial (HS) (Peña, et al, 2003).

Los humedales de flujo subsuperficial (HS) se diseñan y construyen para que el agua fluya a través de la zona radicular de la vegetación y por lo tanto no presentan una superficie libre de flujo. Este sistema consiste en una excavación que contiene un lecho de material filtrante que generalmente es grava, el cual soporta el crecimiento de la vegetación emergente. En esencia, un humedal de flujo subsuperficial se clasifica como un sistema de tratamiento de película fija. Los humedales de flujo superficial, el agua fluye superficialmente y sobre ella emergen plantas acuáticas (flotantes o enraizadas).

Los contaminantes en los sistemas con macrofitas son removidos por una variedad compleja de procesos biológicos, físicos y químicos, incluyendo sedimentación, filtración, adsorción en el suelo, degradación microbiológica, nitrificación y desnitrificación, decaimiento de patógenos y metabolismo de las plantas. Las macrofitas remueven contaminantes por asimilación directa dentro de sus tejidos, además proveen superficie de contacto y un ambiente adecuado para que los microorganismos transformen los contaminantes y reduzcan sus concentraciones. En la Tabla 11 se muestran las macrofitas más utilizadas en humedales de flujo sub superficial.

Tabla 11 Propiedades de macrofitas utilizadas en HFS

Especies	Nombre Hispanico	Nombre científico	Penetración de raíces (m)	Tasa de transferencia de O ₂ (g/m ² - d)	Número de plantas /m ²
Reed	Cáñamo	<i>Phragmites sp</i>	60-76	4,8	2-4
Bulrush	Papiro	<i>Scirpus sp</i>	76	5,7	2-4
Rushes	Junco	<i>Juncos sp</i>	30	ND	ND
Cattails	Tifácea	<i>Typha sp</i>	50	2,1	ND
Bamboo	Guadua	<i>Bambusa sp</i>	100-200	ND	ND
Bamboo	Bambulina	<i>Dendrocalamus sp</i>	30-40	ND	ND

ND: No Disponible. Fuente Peña *et al*, 2003

Tratamiento anaerobio: El tratamiento anaerobio cada vez es más reconocido como un tratamiento avanzado para la protección del ambiente, y representa, combinado con otros postratamientos adecuados, un sistema sostenible para los países en desarrollo .

El tratamiento anaerobio es un proceso de mineralización, que convierte el abono orgánico en dióxido de carbono y gas metano; los compuestos nitrogenados en amonio y fosfatos orgánicos en fosfatos inorgánicos. El reactor anaerobio UASB se visualiza hoy como una tecnología robusta y es la tecnología más común de los procesos anaerobios de lata tasa para el tratamiento de vertimientos. La aplicación de esta tecnología para el tratamiento de agua residual doméstica, está

creciendo rápidamente en países en desarrollo Algunas características de la tecnología del reactor UASB son:

1. Se presenta una mezcla completa del flujo.
2. Se presenta un buen contacto entre el sustrato (agua residual) y la biomasa (bacterias)
3. Existe una remoción de huevos de nemátodos como resultado de la filtración y agregación que se lleva a cabo en el lodo.
4. Se presenta una buena separación entre el gas, líquido y sólidos.
5. El biogás que se genera en el proceso es atrapado y puede ser re - usado o dispuesto en forma controlada, reduciéndose la emisión del metano a la atmósfera.
6. La extracción del lodo es un proceso simple.
7. Se requiere de un tiempo de retención y consecuentemente, de un tamaño mucho menor que una laguna.

5. Caso piloto de piscicultura con aguas residuales. Ginebra, Valle del Cauca.

Se ensayó el crecimiento y supervivencia de la tilapia roja (*Oreochromis sp.*) cultivados en jaulas al final de una laguna facultativa en la planta experimental de tratamiento de aguas residuales de Ginebra, Valle del Cauca, Colombia.

Se observaron los efectos asociados a la densidad de siembra (cantidad de peces en cada jaula de igual tamaño) y la inclusión de la biomasa de lenteja de agua (*Lemna minor*, planta flotante componente del tratamiento biológico del agua residual) en la dieta de los peces.

Se emplearon jaulas construidas en bambú forradas con mallas plásticas de 1m³ con 1m² de área superficial cada una, para hacer el cultivo de los peces.

Se incluyeron dos tratamientos en el experimento: La densidad de siembra (número de peces por jaula) y el tipo de dieta (inclusión o no de biomasa de lenteja de agua en la dieta de los peces).

En el factor "Densidad de siembra" se definieron 4 niveles: 5, 7, 10 y 12 peces por jaula. En el factor "Tipo de dieta" se definieron dos niveles: Dieta compuesta por un 50% de concentrado y presencia de biomasa de lemna en la jaula, y, dieta a base de concentrado con eliminación total de la biomasa de la lemna de agua de la jaula.

En las jaulas sin dieta combinada, se alimentó a los peces con concentrado comercial (Solla) de acuerdo a las raciones sugeridas por el productor. ("Tilapia 38" hasta los 20g de peso, "Tilapia 32" entre los 21g y 60g de peso y "Tilapia 24" para los pesos mayores e iguales a 70g. La frecuencia de eventos de alimentación empleados fue: 6 veces al día para los peces cuyo peso era inferior a los 30g; 5 veces al día para los peces cuyo peso era mayor a los 30g La cantidad de alimento dado a cada jaula se calculó multiplicando el número de peces existentes en la misma por la ración de alimento recomendada por Solla S.A. la cual es:

$$\%R = 9.204 * P (-0.324)$$

Donde:

%R: Porcentaje de la ración de alimento en relación a la biomasa del pez
P: Peso del pez

El experimento se llevó a cabo en paralelo en una granja piscícola. Allí, se sembraron los peces en varios estanques a una densidad de 5 peces por metro cúbico de agua aproximadamente. Se suministró concentrado como única fuente de alimento externa y se contó con aireación mecánica para oxigenar el agua especialmente durante la noche y días lluviosos. El experimento empleó un subgrupo de los peces que se compraron para cultivarse en esta granja piscícola, los cuales fueron sembrados al mismo tiempo en las dos partes.

Se llevó a cabo un muestreo del agua de la entrada de la planta de tratamiento, a la salida (a la altura de las jaulas con peces) y del agua de uno del estanque de la granja piscícola. Se encontró que el agua de la laguna facultativa tenía menor oxígeno disuelto, una mayor contaminación orgánica, pero una menor concentración de coliformes totales.

La contaminación microbiana en el estanque piscícola fue de 3.9 x 10⁴ UFC/100ml y en la laguna facultativa a escala piloto fue de 6x10³ UFC/100ml. Se hizo un análisis microbiológico del músculo de una muestra de los peces cultivados en la laguna facultativa y en el estanque comercial. Se encontró que todos los peces analizados (provenientes tanto de la laguna facultativa como del estanque piscícola) cumplieron con las normas colombianas de calidad de alimentos para consumo humano o sea, no se detectó *Salmonella* en 25g de tejido muscular y la concentración de coliformes fecales fue inferior a 100 NMP/g. (Normas NTC 1276 Segunda actualización, numeral 4)

Se encontró que no hubo diferencias significativas con P = 0.1, en las variables respuesta ("Peso promedio final de las jaulas – crecimiento de los peces" y "Porcentaje de mortalidad"), en presencia de los factores "Tipo de dieta" y "Densidad de siembra de los peces" (Abenoza, 2006).

6. CONCLUSIONES

Con base en la discusión conceptual sobre la calidad de aguas residuales a reusar en cultivos de peces y las tecnologías de tratamiento que más se ajustan a las condiciones de los países tropicales y los estándares de calidad exigidos, las siguientes son las conclusiones que se derivan de este trabajo.

1. El uso de aguas residuales para la piscicultura es una actividad que está creciendo a pasos agigantados y se requiere una estrategia de seguimiento y control a la calidad del agua ya que los riesgos asociados con esta actividad son grandes, especialmente los asociados a la presencia de agentes patógenos.
2. Debe garantizarse una calidad adecuada de las aguas residuales a emplear en el cultivo de peces, en lo referente a

riesgo microbiológico, especial atención debe centrarse en la presencia de trematodos humanos, por ejemplo los Schistosomas.

3. Los estándares de la calidad microbiológica del agua en lo que se refiere a la presencia de bacterias patógenas, debe ser un poco más flexibles, niveles de 103 microorganismos/100 ml, demandan la necesidad de ubicar una serie de lagunas de tratamiento para alcanzar este valor y puede generar la reducción de fertilizante vital para la acuicultura lo que se podría traducir en una reducción de la productividad.

4. Las normas epidemiológicas de calidad de agua deben ser diseñadas sobre riesgos actuales y no sobre riesgos potenciales, ya que esta concepción establece menos exigencias que la segunda.

5. El agua residual nunca debe ser utilizada cruda o con tratamiento parcial para el cultivo de peces. Esto dado que se requiere un mínimo de 8 a 10 días de retención de las aguas para la eliminación de trematodos, los cuales son el mayor riesgo a la salud pública.

6. Los riesgos a la salud por los contaminantes químicos (metales pesados y compuestos clorados) presentes en aguas residuales es bajo, pero esta condición debe ser eficientemente monitoreada, ya que existe poca evidencia científica que establezca la condición contraria.

7. Controlar las condiciones operacionales de los sistemas de cultivo de peces alimentados con aguas residuales, de tal forma que se puedan evitar potenciales riesgos. Acciones como suspender entrada de agua semanas antes de la cosecha aparece como una excelente medida de prevención.

8. Los sistemas que más fácilmente pueden alcanzar las normas de calidad de agua para cultivo de peces son los métodos naturales o sistemas no convencionales. Su alta degradación de materia orgánica, reducción de patógenos y nutrientes convierten a estos sistemas en la primera opción a considerar.

9. Los sistemas de lagunas de estabilización por sus características de alta eficiencia y bajo costo es la tecnología más empleada como tratamiento de las aguas residuales que se emplean en cultivo de peces.

10. Una buena combinación es el uso de aguas para lagunas de peces y el empleo de los efluentes para irrigación son una excelente combinación con un enfoque de cerrar el ciclo del agua.

7. REFERENCIAS

Abenzo, J. A. 2006. Estudio del efecto de la densidad de siembre y tipo de alimentación en el crecimiento de un cultivo comercial de Tilapia (*Oreochromis sp*) en una laguna facultativa para el tratamiento de aguas residuales domésticas de ginebra, Valle del Cauca. Tesis de Ingeniería Sanitaria, Escuela EIDENAR, Universidad del valle, Cali, Colombia.

Alceste, C., y Jory D. E. 1998. Análisis de las tendencias actuales en la comercialización de tilapia en los Estados Unidos de Norteamérica y Europa. Proceedings, First South American Aquaculture Congress. Recife, Brazil. 2-6 Noviembre. 1998. 349 – 364pp.

Allhen, G., y Hephher, B. 1976. Waste and use of recirculation water in aquaculture. Technical conference in aquaculture. Tokyo, Japan.

Asano, T., y Levine, A. 1996. Wastewater reclamation, recycling and reuse: Past, present and future. *Wat. Sci. Tech.* 33 (10-11), 1 -14.

Asano, T. 1991. Planning and implementation of water reuse projects. *Wat. Sci. Tech.* 24(9), 1-10

Asano, T. 2004. Urban water recycling. IWA Publishing, London, UK. *Wat. Sci. Tech.* 51(8) 83 – 89p.

Blumenthal, U., Strauss, M., Mara, D.D., Y Cairncross, S. 1989. Generalised model of the effect of different control measures in reducing health risk from waste reuse. *Wat. Sci. Tech.* 21, 567-577.

Blumenthal U., Passey A., Ruiz-Palacios G., Mara D. Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: recommended revisions bases for a new research. Task. No. 68. Part 1. Water And Environment Health at London and Loughbroug (WELL). 2000. 5-7p, 34-37p.

CEPIS. 1995. Aquaculture using treated effluents from the san Juan stabilization ponds. Lima, Peru. CVC. 2001. Plan de Acción Trienal: Construyendo una cultura ambiental para el Valle del Cauca, 2001-2003, Cali, Colombia.

DNP. 2002. Documento CONPES 3177, Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del Plan Nacional de Manejo de aguas Residuales en Colombia. Bogotá.

DC: Edwards, P., and Polprasert C., Wee K. 1987. Resource recovery and health aspects of sanitation. AIT Research Report No. 205.. pp 324.

Edwards, P., Hassan M. S., Chao C. H., and Pacharaprakiti C. 1992. Cultivation of duckweeds in septage loaded earthen ponds. *Bioresource Technol.*40: 109- 117pp.

Edwards, P. 2001. Public Health Issues of Wastewater-fed Aquaculture. *Urban Agriculture Magazine*, vol1, no 3, pp 20-22.

Falkenmark, M. Overarching, conclusions and comments from the 2004 Stockholm Water Symposium. IWA Publishing. London, UK. 2004. *Wat. Sci. Tech.* 51 (8) pp 1- 4.
