

COMPORTAMIENTO DE LA POBLACION DE ALGAS Y PROTOZOOS DESPUES DE LA LIMPIEZA DE LA BIOMEMBRANA EN UN FILTRO LENTO EN ARENA

Ing. Luis Dario Sánchez⁽¹⁾

Ing. Jorge Latorre¹

Ing. Gerardo Galvis¹

¹Ingeniero Sanitario MSC, Universidad del Valle, Cinara, Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico, Cali, Colombia.



Endereçamento⁽¹⁾: e-mail: cinara@cinara.univalle.edu.com

RESUMEN

Este estudio examina el efecto de la limpieza de la biomembrana sobre las poblaciones de algas y protozoos en un FLA, cuando se utilizan las técnica de raspado y arado del filtro y determina el tiempo que tardan en recuperarse las poblaciones de algas y protozoos después de que el filtro ha sido limpiado. Estudios previos en los Filtros Lentos de Arena (FLA) indican que tanto la biomembrana como el crecimiento biológico sobre el lecho del filtro, juegan un papel importante sobre la efectividad del tratamiento. El impacto de la limpieza sobre estas poblaciones podría en un momento determinado afectar la remoción de patógenos por el FLA, generando un incremento del riesgo sanitario en el agua efluente del filtro.

Los resultados de este trabajo indican que después de la limpieza del FLA y una vez se inicia su operación, las poblaciones de algas y protozoos tienden a un patrón de crecimiento en forma de "S" que puede ser representado a través del modelo logístico, basado en la siguiente expresión: $N(t) = K/(1 + e^{-at})$; donde: N, es la población de organismos en un instante dado; K, población de organismos antes de la limpieza; a, posición de la curva con relación al origen; r, índice de crecimiento de la población por individuo; t, tiempo y e, base de logaritmo natural. Este comportamiento fue similar en los FLA con limpieza por arado y raspado. Las poblaciones biológicas registraron los siguientes períodos de recuperación después de la limpieza: 1) FLA con raspado: algas entre 44 y 275 horas; protozoos, entre 68 y 320 horas y 2) FLA con arado; Algas entre 128 y 260 horas; protozoos entre 200 y 210 horas.

PALABRAS CLAVES: Biomembrana, Crecimiento Biológico, Poblaciones de Algas y Protozoos, Raspado y Arado del Filtro.

INTRODUCCION

Los principales mecanismos que contribuyen a la remoción de contaminantes en F.L.A son descritos por Huisman et al (1974). El mejoramiento de la calidad del agua es una

combinación de procesos de naturaleza física, química y biológica (Huisman et al, 1974) cuyos mecanismos no se han acabado de comprender (Haarhoff et al, 1991).

El crecimiento biológico se da en el lecho de arena, especialmente sobre la superficie se forma una capa de depósitos inertes y material biológico llamado biomembrana (Schmutzdecke). Tanto la biomembrana como el crecimiento biológico sobre el lecho, tienen un rol importante sobre la efectividad de la filtración lenta en arena. Ambos pueden requerir semanas o meses para desarrollarse. Cuando la biomembrana se ha desarrollado completamente hasta el punto en el cual se colmata la superficie del medio filtrante, causa pérdidas de carga mayores a las establecidas inicialmente, y entonces el filtro deberá ser drenado y la capa superficial tendrá que ser removida (entre 1 y 2 cm.).

Estudios previos en filtración lenta en arena han presentado que la población bacteriana declina con la profundidad en el filtro, sugiriendo esta situación que gran parte de la cantidad de biomasa en el filtro está asociada con la biomembrana (Duncan 1988, Mallevialle and Duguet 1988; Seelaus et al 1986; Schmit and Hippold 1989). La tabla 1 resume la población de organismos en la superficie del filtro reportada por los distintos investigadores. Según lo reportado no existe consenso entre ellos sobre un parámetro estándar para el muestreo en el medio filtrante y de ahí las dificultades para identificar un indicador para la población biológica que debe estar en el medio filtrante cuando se ha alcanzado la maduración.

Tabla 1: Población de Algas y Protozoos en la Superficie de un F.L.A Reportado por Diferentes Autores.

TIPO DE ORGANISMO	# DE ORGANISMOS EN LA SUPERFICIE DEL LECHO	AUTOR	COMENTARIO
Protozoos	1500/cm ² arena	Lloyd (1974)	Población típica de protozoos en una columna de filtro de arena maduro
	(409 - 14049)/gramo de arena	Dibernardo (1993)	Conteo de ciliados, flagelados ripozodos y nematodos en los primeros 5 centímetros de arena.
Algas	2400/gramo de arena	Dibernardo (1993)	Conteo de Bacillariophyta en los primeros 5 centímetros de arena.

El conocimiento del crecimiento de las poblaciones biológicas, las estrategias nutricionales, la acumulación de partículas, composición de especies y la estructura de las comunidades biológicas en la biomembrana son importantes para valorar el metabolismo, la biodegradación y el crecimiento potencial de las bacterias en filtración lenta en arena.

Crecimiento de poblaciones biológicas

De acuerdo con Krebs (1985) una población de organismos que esta presente en un medio ambiente favorable aumentará su número. No obstante las poblaciones no incrementan geoméricamente de manera continua. La densidad aumenta poco cuando una población vive y crece en un espacio limitado. La curva de crecimiento con que se representa a una población de este tipo es sigmoide, o en forma de "S". Esta curva se caracteriza por dos aspectos: 1) Tiene asintota superior (es decir, la curva no excede a un nivel máximo dado) y 2) Se acerca a esta asintota en forma gradual y no súbita. La forma de representar una curva sigmoide es la ecuación siguiente:

$$N(t) = \frac{k}{1 + e^{a-rt}} \quad (1)$$

Donde:

$N(t)$ = Tamaño de la población en el tiempo t .

e = Base de los logaritmos naturales

a = Constante de integración que define la posición de la curva con relación a su origen.

t = Tiempo (Horas)

r = Índice de crecimiento de la población por individuo.

k = Asintota superior o valor máximo de N (Número de organismos).

Esta es la forma diferencial de la ecuación para la curva logística que planteo originalmente Verhulst en 1838 para describir el crecimiento de las poblaciones humanas.

En términos biológicos r es el índice de crecimiento de la población por individuo o también conocido como capacidad innata de incremento. Krebs (1985), define a este término como el índice máximo de incremento logrado con cualquier combinación específica de temperatura, humedad, calidad de alimentos; cuando la cantidad de alimentos, espacio y otros organismos de la misma especie permanecen en un nivel óptimo. Los factores ambientales que afectan a r son: La cantidad de nutrientes, el espacio para crecer y la densidad de la población. La capacidad innata de incremento o índice de crecimiento de la población por individuo es un índice instantáneo al que se puede transformar en uno finito mediante la formula reportada por Krebs (1985):

$$\text{Índice finito de incremento por individuo (IFI)} = \gamma^n = e^r \quad (2)$$

En estos términos el índice finito de incremento indica cuantos organismos futuros existirán por cada individuo en el presente. Esta es la forma de representar cuantitativamente la tasa de crecimiento (r) de la población en estudio y es un valor que se emplea tradicionalmente en ecología; sus valores siempre son mayores o iguales a 1.

Acumulación de Impurezas en el Medio Filtrante

De acuerdo con una revisión realizada por Ellis (1985) algunos autores han sugerido que la actividad biológica dentro de la parte superficial del medio filtrante es un factor importante en la adherencia de partículas. La hipótesis planteada es que los polisacaridos exocelulares aumentan la eficiencia de adherencia. Además es posible que las moléculas poliméricas se extiendan desde la superficie biológica dentro del medio y adhieren las partículas. Ellis (1985) y LLoyd (1974) afirman que la remoción de bacterias probablemente se debe primero que todo a la acción de los predadores, especialmente protozoos y rotíferos.

De acuerdo con Rittman y Mc Carty (1980), las características que tienen las bacterias para su acumulación neta es controlada por cuatro procesos: crecimiento, deposición, decaimiento y separación. El crecimiento es proporcional a la tasa de utilización de substrato, el cual depende de la cantidad de biomasa adherida, del transporte de masa y de la cinética de utilización de substrato. La deposición de bacterias suspendidas, la que además incrementan la acumulación de biomasa adherida, esta controlada por la concentración de bacterias suspendidas y por parámetros físico-químicos que afectan el transporte y adherencia sobre la superficie. La biomasa decae primero que todo por el suministro de energía para el mantenimiento, reduce la biomasa adherida y ocurre en proporción a la biomasa activa. El desprendimiento puede ser el mayor mecanismo de pérdida de la biomasa adherida y la mayor fuente de biomasa suspendida, la tasa de desprendimiento es proporcional a la cantidad de biomasa adherida y a las fuerzas hidrodinámicas.

Los objetivos del presente estudio se resumen de la siguiente manera: 1) Estudiar el efecto de la limpieza sobre las poblaciones de algas y protozoos en un FLA, cuando se utilizan las técnicas de raspado y arado del filtro y 2) Medir el tiempo que tardan en recuperarse las poblaciones de algas y protozoos después de que el filtro ha sido limpiado.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se llevó a cabo en la Estación de Investigación y Transferencia de Tecnología de Cinara ubicada en Puerto Mallarino, Cali - Colombia, a orillas del río Cauca. Dos unidades piloto de FLA antecedidas de filtración gruesa ascendente en capas (FGAC) y filtración gruesa dinámica (FGDi); se evaluaron después de la limpieza de la superficie del lecho por "raspado" y "arado". Adicionalmente dos plantas a escala real con limpieza por raspado fueron evaluadas; dichas plantas fueron: planta de la Parcelación Cañas gordas y la del Colegio Colombo Británico, localizadas al sur de Cali en el sector de Pance. Las unidades piloto fueron alimentadas con agua cruda procedente del río Cauca; mientras que las plantas a escala real captan agua de canales de derivación del río Pance.

Los parámetros y variables de la investigación fueron el recuento de algas y protozoos en la superficie del lecho de arena después de la limpieza del filtro lento para el inicio de una nueva carrera de filtración.

Filtros Piloto

Para el estudio de la limpieza del filtro a nivel de laboratorio, dos unidades piloto de filtración lenta en arena fueron construidas, las unidades funcionaron en paralelo y se antecedieron de una unidad de filtración dinámica (FGDi) y una unidad de filtración gruesa ascendente en capas (FGAC). En la unidad 1 se evaluó la limpieza por raspado del filtro y en la unidad 2 se evaluó la limpieza por arado. Los filtros pilotos tuvieron las siguientes características: El material de construcción fue en ferrocemento de forma circular, con diámetro 2.0 m; altura total 2.10 m; altura del lecho filtrante 1.0 m; altura del lecho de soporte 0.25 m; pérdida de carga disponible 0.70 m y borde libre 0.15 m. La velocidad de filtración empleada fue de 0.15 m/h y las características del medio filtrante fueron: tamaño efectivo (d_{10}), 0.15 - 0.30 mm; coeficiente de uniformidad, 2.4 y porosidad de 0.48.

Plantas a Escala Real

La Planta de Tratamiento del Colegio Colombo Británico, Cali, suministra agua a un Colegio con población de 1200 estudiantes, el caudal de diseño del sistema es de 1,0 l/s. Los filtros lentos tienen un área total de 24 m², profundidad del medio filtrante de 1,2 m y velocidad de filtración de 0.15 m/h. La Planta de Tratamiento de la Parcelación Cañasgordas, abastece 150 viviendas y tiene un caudal de diseño de 10.5 l/s. Los filtros lentos tienen un área total de 249 m², con profundidad del medio filtrante de 1,0 m y velocidad de filtración de diseño de 0.15 m/h

Muestreo

Las unidades piloto operaron a una velocidad de filtración de 0,15 m/h y las plantas a escala real entre 0.11 y 0.12 m/h. Los filtros piloto operaron 110 días y un total de dos limpiezas por unidad se lograron evaluar en la investigación. En las plantas a escala real se logró la evaluación de una sola limpieza del filtro, dado que las carreras de filtración normales oscilaron entre 60 y 90 días, períodos bastante largos en relación al tiempo empleado para la experimentación.

El muestreo se hizo sobre la superficie del lecho filtrante de la siguiente manera: Para el recuento de algas y protozoos, el filtro se dividió en cuatro partes iguales y con un frasco plástico con capacidad para un centímetro cúbico se extrajo de cada parte una muestra de arena superficial, posteriormente en el laboratorio y en un frasco estéril de 100 ml se mezclaron las cuatro porciones de arena para integrar la muestra; posteriormente se extrajo nuevamente cada porción de 1 cm³ de arena para el análisis tanto de algas como de protozoos.

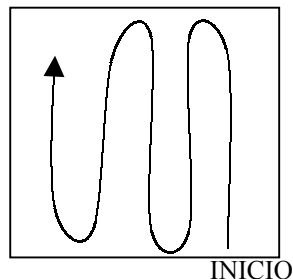
Recuento de Algas y Protozoarios

De la parte superficial del filtro se extrajo una porción de arena en un recipiente plástico de un volumen de 1cm³. Este cm³ de arena es agregado posteriormente a un frasco estéril de 100 ml, al cual se le agregó 25 ml de medio de cultivo para protozoarios. La muestra de arena con medio de cultivo se almacenó a una temperatura de 4°C. En el momento de la lectura la muestra es agitada por 3 minutos, para homogenizar y desprender los organismos que están adheridos a los granos de arena. El recuento se hizo con base a la metodología reportada por Salvado et al, (1992) y Madoni, (1994), tomando cuatro submuestras de 20 microlitros medidos por micropipeta. La muestra se colocó en un porta

objetos y se cubrió con una laminilla de 1cm * 1cm y un milímetro de espesor. Se observó la muestra al microscopio con los objetivos 10X y 40X. Se marcó el punto de inicio y se hizo un barrido de la placa de derecha a izquierda tal como se indica en la figura 1

Figura 1 Lectura de algas y protozoos en la placa.

FINAL



INICIO

Se reportaron los organismos que se observaron el objetivo 10X y 40X. El número de organismos encontrados en la placa se multiplicó por un factor de dilución de 1250 para reportar los datos como # org/cm³ arena húmeda.

Se midió el caudal diariamente a la entrada de cada unidad de filtración tanto a escala piloto como a escala real. El método seguido fue el procedimiento volumétrico.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los datos experimentales obtenidos para el comportamiento de algas y protozoos para la condición del medio filtrante antes y después de la limpieza superficial se presentan en la tabla 2.

Las pruebas donde desaparecen las algas y los protozoos después de la limpieza, coinciden con la limpieza por raspado y esto puede ser el reflejo de una mayor altura de arena extraída durante la limpieza, se puede apreciar que la limpieza puede afectar la población de algas y protozoos; el raspado en el F.L.A piloto produjo mayor disminución en la población de algas y protozoos, siendo mayor la disminución en estos últimos. Sin embargo en las plantas a escala real fue menor el impacto de la limpieza sobre las algas y protozoos, a pesar de que en ellas se empleó el raspado. Una razón puede ser la extracción de menor altura de arena superficial en un momento dado o también el efecto en el vaciado de la unidad cuando se baja el nivel de agua por debajo del medio filtrante.

La población de algas en todas las pruebas tiende a ser mayor que la población de protozoos. Las plantas a escala real presentan mayor población de algas y protozoos, a su vez la proporción entre las poblaciones es casi 1:1. Entre las dos plantas de tratamiento la del Colombo Británico presenta mayor población tanto en algas como en protozoos, esto puede ser debido a la diferencia de sistemas de pretratamiento instalados, pues la planta de Cañasgordas emplea prefiltros en serie y mayor retención de partículas o microorganismos puede estar ocurriendo, afectando así el número de organismos que pueden colonizar el FLA.

Tabla 2 - Condiciones de Algas y Protozoos en la Superficie del Filtro Antes y Después de la Limpieza.

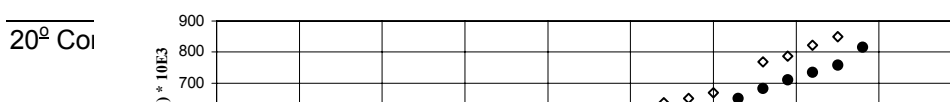
TEC. LIMPIEZA	FILTRO EVALUADO	PRUEBA No	RECuento DE ALGAS - LIMPIEZA Unid. Log/cm ³ Arena			RECuento PROTOZOOS Unid. Log/cm ³ arena		
			Antes	Después	Reducción Uni.Log	Antes	Después	Reducción Uni. Log.
Raspado	F.L.A Piloto	1	5,68	0	5,68	4,82	0	4,82
		2	5,94	4,56	1,38	4,5	0	4,5
Arado	F.L.A Piloto	1	6,17	4,64	1,53	4,49	3,57	0,92
		2	6,33	5,86	0,47	4,97	4,78	0,19
Raspado	F.L.A Planta Colombo Británico	2	7,51	6,64	0,87	7,29	6,48	0,81
	F.L.A Planta Cañasgordas	3	6,61	6,07	0,54	6,12	5,20	0,92

La limpieza del filtro afecta las poblaciones de las algas (productores primarios) y los protozoos - principales consumidores primarios - establecidos en el filtro (tabla 2). Lloyd (1974) establece a este respecto que la limpieza provoca disminución en la microfauna funcional en el filtro. Después de la limpieza por raspado hay poblaciones que prácticamente se extinguen en especial los protozoos y las algas, esto fue más significativo en el F.L.A 1 piloto, prueba 1. En la segunda prueba en el mismo filtro se extinguieron los protozoos y quedó población remanente de algas (3.8 logs/cm³ arena). En las pruebas piloto donde se empleó la técnica de limpieza por arado, la población de protozoos y algas sufrió menos alteraciones que en la limpieza por raspado. Collins et al (1991) a este respecto reportan que la limpieza de un filtro por arado, permanece con mejores condiciones biológicas que uno por raspado.

En las plantas a escala real después de la limpieza, la relación entre las poblaciones de algas y protozoos continuo siendo 1:1, coincidiendo a su vez con menores períodos de maduración. La anterior apreciación indica que el período de maduración no solo es función de la calidad del agua afluente (Letterman et al, 1985); si no que además depende de la relación existente entre la población de algas, protozoos remanentes en el filtro después de la limpieza, y de la técnica o forma de hacer la limpieza del medio filtrante; similares hallazgos han reportado Lloyd 1974, Bellamy et al 1985 y Collins et al 1991, en filtros evaluados en Estados Unidos y Europa.

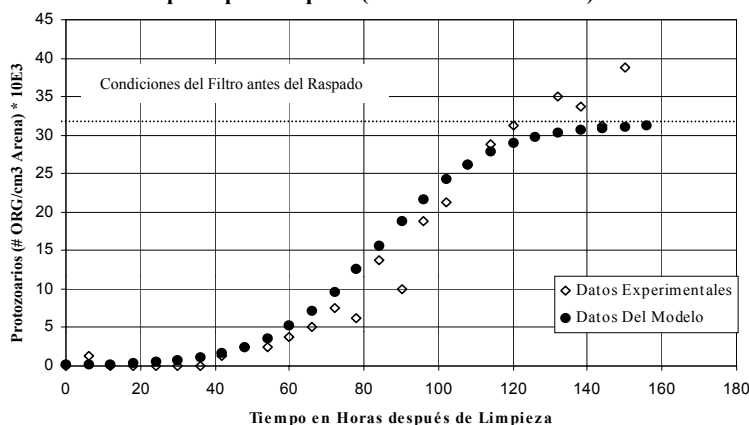
Las Figuras 2 y 3 ilustran el típico patrón de comportamiento de algas y protozoos respectivamente, después de la limpieza del filtro en todas las pruebas realizadas. La forma de obtener estas figuras para todas las pruebas fue la siguiente:

Figura 2: Comportamiento de la Algas Después de Limpieza por Raspado (FLA1 Piloto Prueba 2)



Condições do Filtro Antes do Raspado

Figura3: Comportamento de los Protozoarios Después de Limpieza por Raspado (FLA1 Piloto Prueba 2)



El patrón de crecimiento de las algas y protozoos parecen seguir el modelo representado por la ecuación (1). Para obtener esta ecuación es indispensable calcular los valores de a y r , los que se obtienen a partir de datos experimentales.

El valor k , de la asíntota superior corresponde al número de organismos presentes en el filtro antes de la limpieza. Es de aclarar que en varias de las pruebas no se alcanzó a llegar a este valor, pues el muestreo fue continuado con coliformes fecales efluentes, y muchas veces se alcanzó el valor deseable de estos, sin que se hubieran recuperado totalmente las poblaciones de algas y protozoos.

Los valores a y r se calculan graficando el factor $[\ln(k-n)/k]$ en función del tiempo. Los coeficientes de correlación (r) obtenidos para el cálculo de los parámetros en las diferentes pruebas oscilaron ^{Condições del Filtro antes del Raspado} entre 0.70 y 0.97, indicando un buen ajuste entre el modelo de crecimiento propuesto y los datos experimentales. Sin embargo, como solo se hicieron seis pruebas en este trabajo, es conveniente analizar esta tendencia con mayor número de evaluaciones en futuros trabajos.

Los resultados de las distintas pruebas indican que la recuperación de las poblaciones de algas y protozoarios después de la limpieza pueden presentar un patrón de "crecimiento o colonización" sigmoide o en forma de "S" (figuras 2 y 3). El modelo matemático que describe el crecimiento de estas poblaciones es similar al descrito por Krebs (1985) para poblaciones naturales y se caracteriza porque la asíntota superior tiende a ser equivalente al nivel de población existente en el filtro antes de la limpieza. Punto en el cual se puede considerar el filtro en estado "estable" o "maduro" en el que la densidad poblacional en el

espacio estudiado se "satura" de organismos y la masa biológica podría estar en balance con los nutrientes disponibles, acorde a lo planteado por Bellamy et al (1985). La población de organismos después de la limpieza es el intercepto de la figura con el eje y.

Las 2 y 3 pueden indicar que el patrón de recuperación de la población de algas y protozoos más que representar un patrón de crecimiento parece más bien un proceso de "colonización" que de acuerdo con Ritman y Mc Carty (1980) está controlada por cuatro procesos: crecimiento, deposición, decaimiento y separación. Parece ser que el desprendimiento puede ser el mecanismo de mayor pérdida tanto de algas como de protozoos y puede estar influenciado por tres factores; forma de hacer la limpieza, cantidad de organismos adheridos al medio filtrante antes de la limpieza y fuerzas hidrodinámicas ligadas a las tasas de filtración de operación del filtro.

Con base al modelo de crecimiento o recuperación de las poblaciones en las diferentes pruebas, se calculó el índice de crecimiento poblacional por individuo y el período de maduración tanto de algas como de protozoos por cada prueba. Dichos resultados se presentan en la tabla 3.

Los valores consignados en la tabla 3 indican que hay una tendencia a que las algas registren menor período de maduración que los protozoos. Las plantas a escala real registran menor período de maduración tanto de algas como de protozoos; la planta del Colombo Británico registró los menores períodos de maduración tanto en algas como en protozoos en relación con las demás evaluaciones realizadas.

Tabla 3 Período de Maduración e índice de Crecimiento Poblacional para Algas y Protozoos Después de la Limpieza en Sistemas F.L.A.

TEC. LIMPIEZA	FILTRO EVALUADO	PRUEBA No	PERIODO DE MADURACION (HORAS) (*)		INDICE DE CRECIMIENTO POBLACIONAL POR INDIVIDUO (r)	
			Algas	Protozoos	Algas	Protozoos
Raspado	F.L.A 1 Piloto	1	275	320	0,0257	0,0216
		2	200	138	0,0341	0,0673
Arado	F.L.A 2 Piloto	1	128	200	0,0295	0,0211
		2	260	210	0,0139	0,0119
Raspado	F.L.A 2 Planta Colombo Británico	1	44	68	0,155	0,0698
	F.L.A 3 Planta Cañasgordas	1	48	78	0,0782	0,0639

(*) Para las pruebas donde no se alcanzó el nivel del valor asintótico en el experimento se emplearon las expresiones matemáticas obtenidas en cada evaluación para obtener el período de maduración o recuperación.

Cuando la población de organismos tanto de algas como de protozoos alcanzan la asintota superior se alcanza el período de maduración para las poblaciones porque en ese instante se

recuperaron las poblaciones de protozoos y algas hasta valores próximos a los que se tenían antes de limpieza.

Con los resultados obtenidos en la tabla 4 de índice de crecimiento poblacional por individuo, es posible calcular el índice finito de incremento por individuo. Estos resultados se presentan en la tabla 4.

Tabla 4: Índice Finito de Incremento por Individuo para Algas y Protozoos Después de la Limpieza de Sistemas F.L.A.

TEC. LIMPIEZA	TIPO DE FILTRO EVALUADO	PRUEBA No	(*) ÍNDICE FINITO DE INCREMENTO POR INDIVIDUO (I.F.I) No. Org * hora / No. Org. presente	
			Algas	Protozoos
Raspado	F.L.A 1 Piloto	1	1,026	1,022
		2	1,035	1,070
Arado	F.L.A 2 Piloto	1	1,030	1,021
		2	1,014	1,012
Raspado	F.L.A 2 Planta Colombo Británico	1	1,168	1,072
	F.L.A 3 Planta Cañasgordas	1	1,081	1,066

(*) I.F.I = e^r

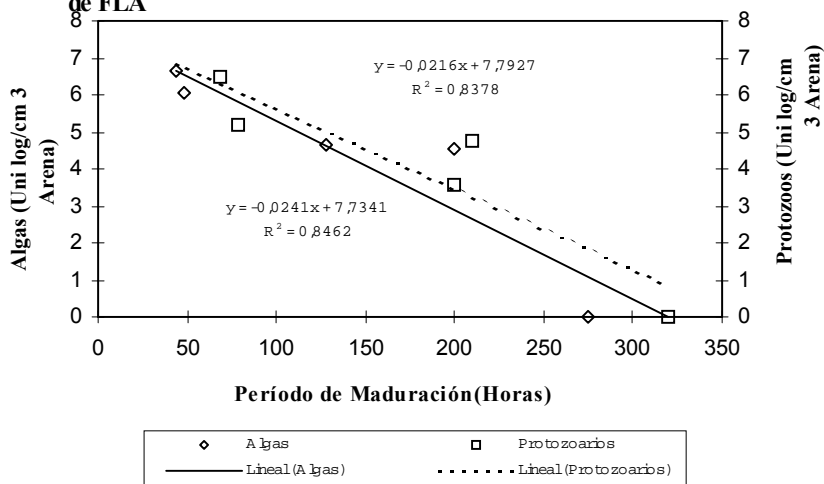
El índice finito de incremento presentado en la tabla 5 quiere decir por ejemplo para $\Upsilon=1,026$ que por cada organismo de alga presente en un tiempo dado, existirán 1,026 org a la hora siguiente y así sucesivamente. Con los valores de la tabla 5 se observa que el índice finito de incremento (I.F.I) tanto en algas como en protozoarios es más alto en las plantas a escala real, especialmente en la planta del Colombo Británico; pero no existe una diferencia marcada de los valores del I.F.I. entre las distintas pruebas. El hecho que no haya una diferencia marcada de los valores IFI en las distintas pruebas tiene un significado especial, pues si la población de algas y protozoos después de la limpieza fuera similar en las pruebas, no existirían diferencias apreciables en el patrón de crecimiento de la población ni en el período de maduración de las poblaciones. Si existen diferencias en la población remanente y los nutrientes después de la limpieza, existirán patrones de crecimiento poblacional diferentes.

La apreciación anterior indica que es muy importante la población remanente en el filtro después de la limpieza, dada la dependencia del período de maduración con la población. En consecuencia, es muy importante la técnica y forma como se limpie el filtro, de tal forma que se afecte lo menos posible las poblaciones sobre todo de protozoos y se logre mantener el mayor número posible de microorganismos después de la limpieza (Huisman et al, 1974; Lloyd, 1974 y Collins, 1991).

Con los resultados obtenidos se pudo correlacionar el período de maduración en función de la población remanente de algas y protozoos después de la limpieza del FLA (figura 4).

Acorde con la figura 4 se observa dependencia ($r^2=0,85$ para algas y protozoos) del período de maduración con relación al número de organismos tanto de algas como de protozoos después de la operación de limpieza. Con base en esta tendencia entre menor sea la población de algas y protozoos después de la limpieza mayor será el período de maduración o recuperación del filtro. Las algas parecen presentar menor período de recuperación que los protozoos y parece existir una correlación entre ambas poblaciones después de la limpieza (figura 4). Lloyd (1974) estableció que en la cadena alimenticia de un FLA, las algas juegan un rol importante al ser los productores primarios y ser fuente de alimento de los protozoos.

Figura 4: Período de Maduración en Función de la Población Remanente de Algas y Protozoos después de la Limpieza de FLA

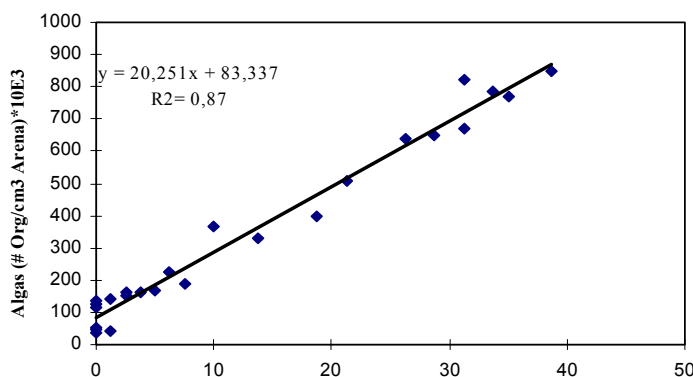


Un factor que puede también afectar el período de maduración es la edad del medio filtrante, pues los FLA piloto operaron con una condición correspondiente a la de un lecho nuevo que recién entra en operación (4 logs/cm³ de arena en protozoos; 5 logs/cm³ arena de algas) y no tiene una condición microbiológica estable (Bellamy et al 1985); en tanto que las plantas a escala real operaron con lechos filtrantes con edad superior a 1 año que puede tener más equilibrio entre las poblaciones biológicas (entre 5-6 logs/cm³ arena en protozoos y 6 logs/cm³ arena en algas).

La correlación existente entre la población de algas y protozoos se examinó para las diferentes pruebas, obteniéndose la figura 5.

La figura 5 es una típica representación de la correlación existente entre las algas y los protozoos, dicha correlación vario para r^2 entre 0.60 y 0.87 presentando un buen ajuste.

Figura 5: Correlación entre algas y Protozoos (FLA1 Piloto Raspado Prueba2)



Estas tendencias indican una proporcionalidad directa entre algas y protozoos, es decir a mayor número de algas después de la limpieza, mayor será también el número de protozoos en el filtro.

A mayor población de algas y protozoos en el medio filtrante, puede haber mayor eficiencia de remoción de coliformes fecales. De acuerdo con Sánchez.L.D, 1996 como parte de este mismo estudio se encontró que para una remoción de 0.5 logs de coliformes fecales se presentó una población de 3 logs/cm³ arena de protozoos y 4.2 logs/cm³ arena de algas; mientras que para la remoción de 3 logs de coliformes fecales las poblaciones fueron de 5.5 logs/cm³ arena de protozoos y 6.8 logs/cm³ arena de algas. Adicionalmente, la población de protozoarios en el medio filtrante puede estar actuando como control del crecimiento de las bacterias porque estos las depredan según lo planteado por Lloyd (1974).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de la limpieza y al reinicio de la operación del filtro, las poblaciones de algas y protozoos manifiestan tendencia a un patrón de crecimiento en forma de "S" que se puede representar a través del modelo logístico. Este comportamiento fue similar en los FLA con limpieza por arado y raspado.

Las poblaciones biológicas registraron los siguientes períodos de recuperación después de la limpieza de los FLA:

	RASPADO	ARADO
Algas:	Entre 44 y 275 horas	Entre 128 y 260 horas
Protozoos:	Entre 68 y 320 horas	Entre 200 y 210 horas

La presencia de períodos de maduración no solo es función de la calidad del agua afluyente; además depende de la población de organismos remanentes en el filtro después de la limpieza, la técnica de limpieza, la forma como esta se lleva a cabo, la edad del medio filtrante (Con menores población biológica en los FLA piloto con lechos de un mes y viceversa en los FLA de las plantas a escala real con lechos de más de un año de operación) y la tasa de filtración (menores períodos de maduración en las plantas a escala real operando entre 0.11 y 0.12 m/h).

El establecimiento del tipo de especie en protozoarios, algas que subsisten después de la limpieza dará elementos más precisos para establecer los factores que controlan la remoción de microorganismos en FLA. Por el riesgo microbiológico después de la limpieza de un FLA, el recuento de bacterias heterotróficas es un parámetro de control de calidad de agua que puede ser estudiado en el futuro. La conveniencia de cubrir FLA nuevos, recién rearenados o con reciente limpieza debe ser estudiado, dado el rol que desempeñan las algas para el crecimiento de protozoos y por tanto el control de bacterias.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Bellamy, W.D., Silverman, G.P. y Hendricks, D.W. (1985). "Filtration of Giardia Cysts and Other Substances. Vol. 2. Slow Sand Filtration. EPA-600/2-85/026. Water Engineering Research Laboratory. Cincinnati, OHIO. pp 304.

2. Collins, M. R., Eighmy, T.T, Fenstermacher, J.M., Spanos, S.K., (1992). "Removing Natural Organic Matter by Conventional Slow Sand Filtration". J A.W.W.A. Mayo.
3. Dibernardo, L. (1995). "Algas e Suas. Influências na Qualidade das A'guas e nas Tecnologias de Tratamento". Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES. Rio de Janeiro, Brasil. Septiembre.
4. Dibernardo, L. (1993). "Metodos e Tecnicas de Tratamento de Agua". Associacao Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES. Vol. 1 y 2. Rio de Janeiro, Brasil. Septiembre.
5. Ellis, K. V., Aydin, M.E. (1993). "A Study of Three Slow Sand Filters at Various Flow Rates With Constant Temperature. Journal Water Science Technology. Vol. 42. No. 2. pp 88-96.
6. Huisman, L., Wood, W. E., (1974). "Slow Sand Filtration". World Health Organization (WHO). Geneva.
7. IRC, CINARA (1992). "Filtración Lenta en Arena, Tratamiento de Agua para Comunidades. Planeación, Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento. Cali, Colombia.
8. Kem, J. A., Collins R. (1995). "Full-Scale Comparative Evaluation of Two Slow Sand Filter Cleaning Methods". Draft of February. Cincinnati, OHIO.
9. Krebs, CH. J. (1985). "Ecología. Estudio de la Distribución y la Abundancia". Editorial Harla, México. Segunda Edición.
10. Letterman, R.D. (1991). "Filtration Strategies to meet the Surface Water Treatment Rule". American Water Works Association. Denver, USA.
11. Lloyd, B. (1974). "The Functional Microbial Ecology of Slow Sand Filtration". PhD. Thesis. University of Sourrey, Inland. Septiembre.
12. Madoni, P. (1981). "Manuali di Utilizzazione degli Indicatori Biologici di Qualità delle acque. I Protozoi Ciliati Degli Impranti Biologici Di Depurazione. Consiglio Nazionale delle Ricerche. Roma.
13. Madoni, P. (1994). La Microfauna Nell' Analisi Di Qualita' Biologica De Fanghi Attivi. Indice Biotico del Fango: SBI. Università degli Studi di Parma.
14. Rittman, B. (1993). "The Significance of Biofilms in Porous Media". Water Resources Research, Vol. 29. No. 7 Julio. pp. 2195-2202.
15. Salvadó, H. y Gracia, M. P. (1993). determination of Organic Loading Rate of Activated Sludge Plants Based on Protozoon Analysis". Water Science technology. Vol. 27. No. 5 pp 891-895.