



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

**“COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO DE TRES PROCESOS  
BIOLÓGICOS CONSIDERANDO EL TAMAÑO DE  
PARTÍCULAS”**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA:**

**ALFONSO SORIANO MARTÍNEZ**

**DIRECTORA:**

**DRA. ALMA C. CHÁVEZ MEJÍA**



2009



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

\*ZARAGOZA\*

JEFATURA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA  
QUÍMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/008/09

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNO: SORIANO MARTÍNEZ ALFONSO  
P R E S E N T E

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

<b>PRESIDENTE</b>	<b>Biol. Eloisa Adriana Guerra Hernández</b>
<b>VOCAL</b>	<b>Dra. Alma Concepción Chávez Mejía</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>I. Q. Ismael Bautista López</b>
<b>SUPLENTE</b>	<b>I. Q. José Antonio Zamora Plata</b>
<b>SUPLENTE</b>	<b>I. Q. María Alejandra Valentan González</b>

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**  
**“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”**

México D. F., a 6 de Marzo de 2009

**JEFA DE LA CARRERA**

**I. B. Q. HILDA OLVERA DEL VALLE**



# *Dedicatorias*

*A mi familia que siempre ha confiado en mí y sobre todo por estar en los momentos más importantes de mi vida.*

*A mis padres Rosa Martínez Hernández y Alfonso Soriano San Vicente por haberme dado la vida, su cariño, su comprensión y por su amor incondicional.*

*A mis hermanos Rodolfo, José Alberto, Ana María, Sergio, Jorge, Salvador y Rubén que siempre han tenido un buen consejo, por soportarme, comprenderme y ayudarme.*

*A Raymundo, Juan José, Juan Carlos, Alan, Rodolfo, Samanta, Melina, Héctor, Dulce, Mario, Omar, Jacobo, Emilio, Iván, María del Carmen, Adriana, Erika, Jesús, y Javier por su amistad, su apoyo y por todos esos momentos inolvidables que vivimos juntos.*

# *Agradecimientos*

*A mi asesora Dra. Alma C. Chávez Mejía, por todo el apoyo brindado, por sus consejos recibidos y por el tiempo dedicado a la realización de la tesis.*

*A los miembros de mi jurado, Biol. Eloísa Guerra, I.Q. Alejandra Valentan, I. Q. Ismael Bautista e I. Q. Antonio Zamora, que emplearon parte de su tiempo en la revisión de éste trabajo y por sus aportaciones para enriquecerlo.*

*A Adriana, Erika, Jesús, Juan Antonio, Paulina, Tania, Adrian, Erick, Karen, Iván, María del Carmen y Roberto Briones por todo su apoyo.*

*A la Dra. Blanca E. Jiménez Cisneros y a todos mis amigos y compañeros del Grupo de Tratamiento y Reúso, Juan Carlos, Miriam, Anemir, María Eugenia, Said, Andrés, Claudia, Raquel, Vianey Diana, Karina, Oriana, Thania Eloina, Víctor, Fabián, Arnold, Miguel Ángel, Edith Marlem, Emilio, Jorge, Evelia, Mariana, Luz, Vladimir, Alejandro, Tania, Lucila, Gerardo, Montserrat, Carolina, María Inés, Soledad, Catalina, José Elías, Victoria y Matilde del Instituto de Ingeniería.*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por darme la oportunidad de una formación académica y profesional. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT proyecto 52620-Y) por el financiamiento otorgado y al Instituto de Ingeniería por permitirme el uso de sus equipos e instalaciones para la realización de este trabajo.*

# CONTENIDO

---

<b>NOMENCLATURA</b> .....	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN</b>	
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	<b>3</b>
2.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA INFRAESTRUCTURA DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES .....	3
2.1.1 Procesos de tratamiento de aguas residuales .....	5
2.1.2 Niveles de tratamiento de las aguas residuales .....	6
2.2 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL DISTRITO FEDERAL .....	7
2.2.1 Planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria (PTAR CU) .....	7
2.2.2 Parámetros de control .....	7
2.3 CONSTITUYENTES IMPORTANTES EN LA CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES .....	10
2.4 NORMATIVIDAD .....	11
2.5 MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE CONTAMINANTES EN LAS AGUAS RESIDUALES Y TRATADAS .....	12
2.5.1 Tamaños de partículas y contaminantes en aguas residuales crudas (ARC) y tratadas (ART) .....	12
<b>3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b> .....	<b>15</b>
3.1 OBJETIVO .....	15
3.2 HIPÓTESIS .....	15
3.3 METAS .....	15
3.4 ALCANCES .....	16
<b>4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
4.1 TAMAÑO DE PARTÍCULAS EN LAS AGUAS RESIDUALES .....	17
4.1.1 Tamaño de partícula y materia orgánica .....	18
4.1.2 Tamaño de partícula y nutrientes .....	19
4.1.3 Tamaño de partículas y desempeño de procesos de tratamiento .....	19
4.2 TÉCNICAS DE SEPARACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS .....	21
4.2.1 Determinación de tamaño por mallas (tamizado) .....	21
4.2.2 Filtración secuencial (prueba SST) .....	24
4.2.3 Determinación de tamaño de partículas por sedimentación gravitacional .....	25
4.2.4 Determinación de tamaño de partículas por sedimentación centrífuga .....	29
4.2.5 Determinación de tamaño de partículas por flujo de campo fraccionado .....	30

4.2.5.1 Flujo de campo fraccionado sedimentado (SFFF) .....	31
4.2.5.2 Flujo de campo fraccionado centrífugo (CFFF) .....	31
4.2.5.3 Flujo de campo fraccionado térmico (TFFF).....	32
4.2.5.4 Flujo de campo fraccionado magnético (MFFF).....	32
<b>4.3 TÉCNICAS DE MEDICIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS .....</b>	<b>33</b>
4.3.1 <i>Análisis de imagen</i> .....	34
4.3.1.1 Microscopio óptico .....	34
4.3.1.2 Microscopio electrónico. ....	34
4.3.2 <i>Método de escaneo de corriente</i> . ....	36
4.3.2.1 Método de zona de escaneo eléctrico (Principio de Coulter).....	37
4.3.2.1.1 Principio de Operación.....	38
4.3.2.1.2 Teoría del método de la zona de detección eléctrica. ....	39
4.3.2.2 Contadores ópticos de partículas. ....	41
4.3.2.2.1 Laser Doppler.....	43
4.3.3 <i>Otros métodos</i> .....	43
4.3.3.1 Interferómetros.....	44
4.3.3.2 Ultramicroscopio de flujo. ....	44
4.3.3.3 Distribución de tamaño de gotas de dispersión. ....	44
4.3.3.4 Analizador electrolítico de tamaño de granulo.....	45
4.3.3.5 Derivación de velocidad de luz de presión. ....	45
4.3.3.6 Monitoreo de tamaño de impacto. ....	45
4.3.3.7 Monitoreo acústico de partículas Monitek.....	45
4.3.3.8 Contador acústico Erdco.....	46
<b>5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>47</b>
5.1 SITIO DE MUESTREO DEL AGUA RESIDUAL CRUDA Y TRATADA .....	47
5.1.1 <i>Descripción de los procesos biológicos</i> .....	47
5.2 TOMA Y CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	50
5.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS .....	51
5.3.1 <i>Determinación de los constituyentes básicos en el influente y efluentes</i> .....	51
5.3.2 <i>Fraccionado de las muestras</i> .....	52
5.3.3 <i>Determinación del tamaño de partículas</i> .....	53
5.3.4 <i>Relación de los parámetros físicos, químicos y el tamaño de partículas</i> .....	54
<b>6. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>	<b>57</b>
6.1 INFLUENTE.....	57
6.1.1 <i>Parámetros físicos y químicos</i> .....	57
6.1.2 <i>Número y volumen de partículas en el influente</i> .....	57
6.1.2.1 Número y volumen de partículas por intervalo de tamaño.....	58
6.1.3 <i>Distribución de los contaminantes con relación al tamaño</i> .....	59
6.1.4 <i>Relación entre los parámetros tradicionales y el volumen de partículas del agua influente de la PTAR CU</i> .....	60
6.1.4.1 Color aparente y volumen de partículas.....	60
6.1.4.2 DBO <sub>5</sub> , DQO <sub>t</sub> y volumen de partículas.....	61
6.1.4.3 NH <sub>3</sub> -N, turbiedad y volumen de partículas .....	62
6.1.4.4 PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> , SST y volumen de partículas.....	64
6.2 EFLUENTES SECUNDARIOS .....	65
6.2.1 <i>Parámetros físicos y químicos</i> .....	65

6.2.2 Determinación del número y volumen de partículas en los efluentes secundarios.....	66
6.2.2.1 Distribución de las partículas en número y volumen.....	67
6.2.3 Distribución de los contaminantes con base en el tamaño .....	68
6.2.4 Relación entre los diferentes parámetros y el volumen de partículas del efluente de los procesos biológicos .....	70
6.2.4.1 Color aparente y volumen de partículas.....	70
6.2.4.2 Turbiedad y volumen de partículas .....	72
6.2.4.3 NH <sub>3</sub> -N y volumen de partículas.....	74
6.2.4.4 DQO <sub>t</sub> y volumen de partículas .....	76
6.2.4.5 PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> y volumen de partículas.....	78
6.2.4.6 SST y volumen de partículas .....	80
6.2.4.7 DBO <sub>5</sub> y volumen de partículas .....	82
6.3 EFLUENTE FILTRADO.....	84
6.3.1 Parámetros físicos y químicos .....	84
6.3.2 Determinación del número y volumen de partículas en el efluente filtrado .....	85
6.3.3 Tamaño de partículas en número y volumen por intervalo .....	85
6.3.4 Distribución de los contaminantes con relación al tamaño.....	87
6.3.5 Relación entre los parámetros tradicionales y el volumen de partículas del efluente filtrado.....	87
6.3.5.1 Color aparente, DQO <sub>t</sub> y volumen de partículas .....	87
6.3.5.2 SST, turbiedad y volumen de partículas.....	89
6.3.5.3 NH <sub>3</sub> -N, PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> , DBO <sub>5</sub> y volumen de partículas .....	90
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>93</b>
<b>8. REFERENCIAS .....</b>	<b>95</b>
<b>APÉNDICE A .....</b>	<b>I</b>
PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS	
<b>APÉNDICE B.....</b>	<b>IX</b>
DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS	
<b>APÉNDICE C .....</b>	<b>XXXI</b>
REMOCIÓN EN LOS PROCESOS BIOLÓGICOS	
<b>APÉNDICE D .....</b>	<b>XXXVII</b>
DIÁMETROS PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DE PARTÍCULA	



## RESUMEN

---

Los parámetros de diseño y operación de una planta de tratamiento de aguas residuales, así como la evaluación de la calidad del agua producida se establecen en términos de parámetros no específicos que sólo representan un valor cualitativo y proporcionan información global acerca del material presente o de sus efectos sin importar tamaño y naturaleza específica. Sumado a ello, los resultados se obtienen después de algunas horas a varios días, lo que implica que no sea posible tomar decisiones de manera rápida y eficiente para atender las responsabilidades establecidas por la reglamentación vigente.

La implementación de métodos modernos de cuantificación de contaminantes en las plantas de tratamiento como lo es el tamaño de partícula, permite obtener la información en tiempo real del desempeño de la operación y la calidad obtenida. Por ello, en este estudio se establece el desempeño de tratamiento de tres procesos biológicos considerando el tamaño de partículas y se establecen las relaciones entre los parámetros tradicionales y el tamaño en diversas fracciones tanto del influente como de los efluentes biológicos y del efluente filtrado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria (PTAR CU), cuantificados como el número y volumen de partículas.

Se encontró que el influente contiene en número de partículas  $50 \times 10^6$  Número/mL y ocupa un volumen de  $207 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{mL}$ . El volumen ocupado se relacionó con el contenido de  $\text{DBO}_5$ ,  $\text{DQO}_t$  y color aparente presentando un coeficiente de correlación ( $R^2$ )  $>$  a 0.8. Con las relaciones obtenidas, se tiene la ventaja al emplear la distribución del volumen de partículas para la determinación de los parámetros básicos de manera indirecta y práctica, así como la reducción del tiempo de respuesta de varias horas a sólo algunos minutos.

En cuanto a los procesos de tratamiento biológico se encontró que el sistema de discos biológicos fue más eficiente en remover partículas, seguido del de lodos activados y el filtro rociador, cada efluente presentó un contenido promedio de partículas de  $12 \times 10^6$ ,  $15 \times 10^6$  y  $29 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{mL}$  respectivamente y el cual corresponde a una remoción del 94%, 92% y el 86% del volumen de partículas. Esta remoción lograda, se ve reflejada en la remoción que se alcanzó en los parámetros básicos analizados. En efecto, la remoción promedio de la turbiedad fue del 97%, 94% y 94%; del color aparente fue 94%, 91% y 87%; de la  $\text{DQO}_t$  fue 93%, 90% y 85%; del  $\text{NH}_3\text{-N}$  fue 89%, 88% y 76%; del  $\text{PO}_4^{-3}$  fue 89%, 87% y 83%; de la  $\text{DBO}_5$  fue 84%, 82% y 78%; de los SST fue 77%, 79% y 76% para discos biológicos, lodos activados y el filtro rociador respectivamente. Una gran parte de las relaciones obtenidas para los procesos biológicos presentaron un  $R^2 > 0.8$ . Sin embargo su aplicación se ve limitada cuando en el efluente se presenta una alta variación de la calidad, así, las ecuaciones determinadas sólo son válidas para cada proceso en particular.

En el efluente de la filtración se encuentra la remoción de hasta un 99% de partículas (tanto en número como en volumen), lo cual concuerda con la remoción lograda de los parámetros físicos y químicos. Así, el porcentaje de remoción promedio del  $\text{NH}_3\text{-N}$ , el  $\text{PO}_4^{-3}$ , la turbiedad y color aparente fue del 99%, para la  $\text{DQO}_t$  del 96%, para la  $\text{DBO}_5$  del 90% y para los SST fue del 86%. Las relaciones determinadas con un  $R^2 > 0.8$  fueron para la  $\text{DQO}_t$  y el color aparente.

# 1. INTRODUCCIÓN

---

Muchos contaminantes presentes en las aguas residuales y tratadas existen en forma particulada o supracoloidal. La manera como éstos contaminantes se distribuyen afecta el desempeño de remoción en los tratamientos de las aguas residuales (biológicos o fisicoquímicos). En la literatura se menciona que para optimizar el desempeño en las plantas, es esencial el estudio que asocie las distribuciones de tamaño de partículas con diversos contaminantes para entender los mecanismos de remoción de la contaminación del agua.

Los parámetros de diseño, el desempeño de operación y de evaluación de calidad del agua residual producida por los procesos de tratamiento de aguas residuales se establecen en términos de parámetros no específicos como la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), la demanda química de oxígeno ( $DQO_t$ ) y los sólidos suspendidos totales (SST). Estos parámetros representan sólo un valor cualitativo y proporcionan información global acerca del material presente o de sus efectos sin importar tamaño y naturaleza específica, ya que los contaminantes contenidos tanto en el agua residual como en los efluentes tratados son mezclas heterogéneas de materiales en un intervalo amplio de tamaño y pesos moleculares, con diversas propiedades que influyen en su comportamiento y repercuten directamente sobre la eficiencia de remoción de cualquier proceso de tratamiento de aguas residuales.

En México, la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, contempla algunos de estos parámetros y especifica cierta concentración para poder hacer un reúso adecuado de acuerdo al contacto directo y al contacto indirecto u ocasional. Su determinación se realiza en laboratorios con personal capacitado y, requieren de 2 horas para determinar los SST y 5 días para conocer el resultado del análisis de la  $DBO_5$ ; además que los costos son elevados ya que deben de realizarse en laboratorios certificados. El tiempo en el que se obtienen los resultados del análisis impide el ajuste adecuado para corregir la operación de cualquier proceso.

Hoy en día, las relaciones establecidas entre los parámetros tradicionales y la distribución de tamaño de partículas (DTP) son una herramienta de gran utilidad para una determinación precisa y rápida de la manera de cómo diseñar y operar una planta de tratamiento. En este caso, de tipo biológico ya que la infraestructura del tratamiento de las aguas residuales en la Ciudad de México está basada en procesos biológicos, mayormente por el tratamiento con lodos activados. Por ello, este estudio tuvo como objeto evaluar y comparar el desempeño de tres procesos biológicos y un proceso de filtración. Así como establecer las relaciones existentes entre la distribución del volumen de partículas y los parámetros tradicionales presentes en las aguas residuales y tratadas.

El presente trabajo está estructurado en ocho capítulos de los cuales este es el primero. El segundo contiene los antecedentes, en él se considera la situación actual de la infraestructura de tratamiento del agua residual a nivel nacional. También se incluye una revisión de procesos de tratamiento de aguas residuales, se describen los principales grupos de contaminantes del agua, la normatividad nacional para la reutilización de las aguas residuales tratadas y finalmente se mencionan algunos de los estudios para la cuantificación de contaminantes en las aguas residuales y tratadas considerando el tamaño de partículas.

El tercer capítulo lo comprenden los objetivos, hipótesis, metas y alcances planeados durante el desarrollo de la misma. El cuarto capítulo presenta la revisión bibliográfica sobre el tamaño de las partículas y los contaminantes de las aguas residuales; la materia orgánica, los nutrientes y la apariencia física general de las aguas residuales y tratadas. En el mismo apartado se describen técnicas comúnmente empleadas para separar, medir y determinar el tamaño de partículas presentes tanto en el agua residual cruda como en la tratada por diversos procesos. Para esto se describe brevemente su operación, se listan algunos de los equipos comerciales así como su intervalo de aplicación, y se mencionan lineamientos básicos contenidos en estándares para una mejor comprensión y determinación del tamaño de las partículas.

El capítulo quinto contiene la metodología desarrollada durante la fase experimental que incluye el sitio del muestreo, se hace una descripción breve de los tres tratamientos biológicos de la PTAR CU, la preservación y el procedimiento de fraccionar las muestras para el estudio. El análisis del tamaño de partículas y los métodos para la determinación de los contaminantes en las aguas residuales y tratadas.

El capítulo seis presenta los resultados y la discusión de los mismos para el influente, los efluentes de los procesos biológicos y para el efluente de la filtración de la PTAR CU. Los resultados están seccionados por parámetros físicos y químicos, la distribución de tamaño de partículas en número y en volumen por intervalo de interés. También se incluyen las relaciones encontradas entre el tamaño de partículas y los parámetros analizados. Así mismo, se compara el desempeño de los discos biológicos, lodos activados y el filtro rociador con los porcentajes de remoción de los contaminantes (parámetros tradicionales). En el séptimo capítulo se encuentran las conclusiones emitidas y en el octavo y último capítulo se encuentran las referencias de la literatura considerada para la realización de este estudio.

Por último, se anexan los resultados puntuales obtenidos en las determinaciones de los parámetros analizados en las aguas residuales y tratadas, así como los resultados de las distribuciones de tamaño de partículas.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA INFRAESTRUCTURA DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

El rápido crecimiento de las zonas urbanas es un indicador inequívoco del incremento de la población en países en vía de desarrollo, que limitan los recursos económicos y otros factores sociales que traen como consecuencia la carencia en servicios básicos tales como es el abastecimiento de agua potable y las necesidades de contar con sistemas de tratamiento de las aguas residuales.

En México se cuenta con un total de 1,710 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación, con una capacidad instalada de 106.3 m<sup>3</sup>/s y un caudal tratado de 79.3 m<sup>3</sup>/s (SEMARNAT, CONAGUA, 2008). La **Tabla 2.1** contiene el número de plantas de tratamiento de aguas residuales en operación y fuera de operación a nivel nacional. El incremento del número de plantas que se ha tenido en México en los últimos 15 años asciende de 546 a 2,019 plantas, lo cual corresponde a un incremento en el tratamiento de aproximadamente el 54%. Aunque en materia de saneamiento de las aguas residuales se ha avanzado, es necesario mencionar que la cobertura de tratamiento del agua residual generada y colectada en los sistemas municipales de alcantarillado del país es únicamente del 38% (SEMARNAT, CONAGUA, 2008).

**Tabla 2.1** Saneamiento del agua en México (modificado de SEMARNAT, CONAGUA, 2008)

Año	Total		En operación			Fuera de operación	
	No. de plantas	Gasto instalado (m <sup>3</sup> /s)	No. de plantas	Instalado (m <sup>3</sup> /s)	Tratado (m <sup>3</sup> /s)	No. de plantas	Instalado (m <sup>3</sup> /s)
1992	546	N.D	394	N.D	30.5	152	S.D
1993	650	N.D	454	N.D	30.7	196	S.D
1994	666	42.8	461	N.D	32.1	205	S.D
1995	680	54.6	469	48.2	32.9	211	6.5
1996	793	54.8	595	51.7	33.7	198	3.1
1997	821	61.6	639	57.4	39.4	182	4.2
1998	914	63.1	727	58.6	40.8	187	4.6
1999	1,000	67.5	777	61.5	42.4	223	5.9
2000	1,018	75.9	793	68.9	45.9	225	6.9
2001	1,132	80.6	938	73.8	50.8	194	6.8
2002	1,242	85.0	1,077	79.7	56.1	165	5.3
2003	1,360	89.6	1,182	84.3	60.2	178	5.2
2004	1,481	92.7	1,300	88.7	64.5	181	3.9
2005	1,666	101.3	1,433	95.8	71.8	233	5.6
2006	1,837	104.9	1,593	99.8	74.4	244	5.1
2007	2,019	112.3	1,710	106.3	79.3	311	6.0

En la **Tabla 2.2** se establece el número de plantas por entidad federativa, destacando que los estados de Durango y Sinaloa cuentan con el mayor número de plantas que es de 165 y 120 respectivamente. Pero en volumen, el estado de Nuevo León es el que trata el mayor caudal con un volumen de 11.9 m<sup>3</sup>/s el cual representa el 15% del caudal tratado respecto al total nacional.

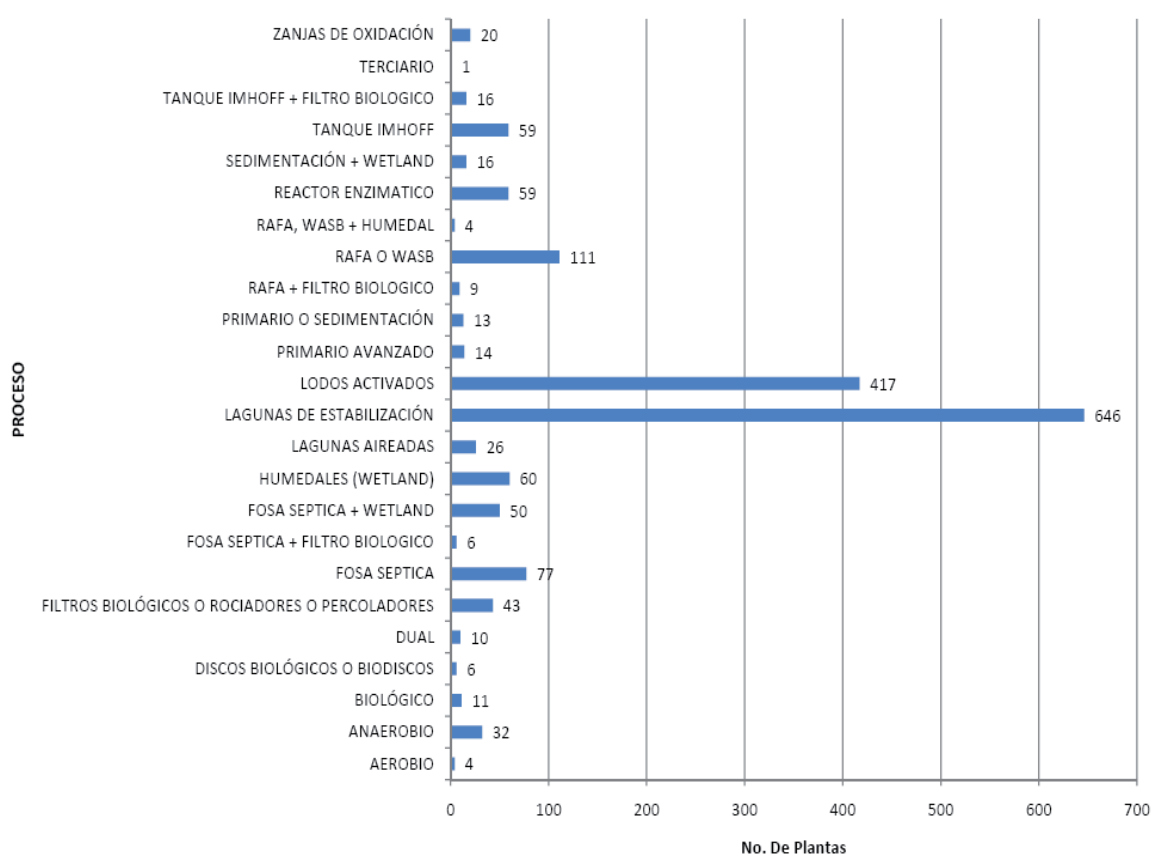
**Tabla 2.2** Inventario nacional de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación (Modificado de SEMARNAT, CONAGUA, 2008)

Estado	No. Plantas	Capacidad instalada (m <sup>3</sup> /s)	Caudal tratado (m <sup>3</sup> /s)
Aguascalientes	108	3.91	3.03
Baja California	25	6.52	4.93
Baja California Sur	16	1.20	0.84
Campeche	10	0.08	0.05
Coahuila de Zaragoza	20	3.77	2.97
Colima	50	1.44	0.95
Chiapas	24	1.51	1.18
Chihuahua	119	8.72	6.31
Distrito Federal	27	6.48	2.81
Durango	165	3.53	2.58
Guanajuato	36	5.74	4.26
Guerrero	35	1.94	1.07
Hidalgo	12	0.22	0.21
Jalisco	96	3.77	3.39
México	75	7.22	4.90
Michoacán de Ocampo	25	3.52	2.47
Morelos	27	1.33	1.06
Nayarit	60	1.96	1.20
Nuevo León	61	13.09	11.87
Oaxaca	65	0.91	0.69
Puebla	67	3.02	2.42
Querétaro de Arteaga	63	1.11	0.71
Quintana Roo	29	2.08	1.60
San Luis Potosí	19	2.10	1.73
Sinaloa	120	5.02	4.18
Sonora	66	4.19	3.00
Tabasco	70	1.81	1.32
Tamaulipas	33	3.63	3.57
Tlaxcala	52	1.23	0.87
Veracruz-llave	87	4.68	2.65
Yucatán	13	0.08	0.07
Zacatecas	35	0.48	0.42
<b>Total Nacional</b>	<b>1,710</b>	<b>106.27</b>	<b>79.29</b>

### 2.1.1 Procesos de tratamiento de aguas residuales

En el tratamiento de aguas residuales existen diversos procesos que adecuan operaciones unitarias para resolver las necesidades según sea el caso. Los procesos fisicoquímicos aprovechan la sedimentación o flotación de materia en el agua y adicionan reactivos para separar los contaminantes, éstos se utilizan para el tratamiento de contaminantes inorgánicos o compuestos tóxicos para los microorganismos, generalmente. Los procesos biológicos utilizan microorganismos que se alimentan de la materia orgánica contaminante los cuales se aplican cuando los principales contaminantes son orgánicos biodegradables.

Las aguas residuales municipales, así como algunos desechos industriales son tratadas con procesos biológicos, por lo cual existe una cantidad mayor de estos procesos como se observa en la **Figura 2.1**, que muestra las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales a nivel nacional. Aunque hay una mayor cantidad de lagunas de estabilización, los procesos con lodos activados son los que tratan el mayor caudal del agua residual a nivel nacional, de tal forma el caudal tratado es del 18% y del 44% respectivamente.



**Figura 2.1** Número de Plantas por proceso de tratamiento de agua residual municipal (SEMARNAT, CONAGUA, 2008)

### 2.1.2 Niveles de tratamiento de las aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales incorpora una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos, los cuales tratan y remueven contaminantes introducidos por el uso humano cotidiano del agua. El objetivo es producir un efluente tratado o reutilizable en el ambiente, y un residuo sólido o lodos que sea también conveniente para futuros propósitos o recursos.

En la literatura se establecen cinco niveles de tratamiento de aguas residuales y se clasifican de la siguiente manera (Metcalf-Eddy, 2003):

1. *Pretratamiento*: Proceso mecánico el cual utiliza rejillas para separar los desechos de mayor tamaño, y desarenador para atrapar arenas de mayor densidad que el agua. No hay ningún cambio en la materia orgánica. Este proceso se utiliza para protección de los equipos posteriores.
2. *Tratamiento primario*: Consiste en la remoción de sólidos insolubles como arena y materiales como grasas y espuma. Entre las operaciones que se utilizan están: la filtración, la sedimentación, la flotación, la separación de aceites y la neutralización. La remoción de los contaminantes generalmente es: DBO del 19%, SST del 40%, turbiedad del 12%, Nitrógeno Total Kjeldahl (TKN) del 3% y fosfatos del 16% (Metcalf-Eddy, 2003).
3. *Tratamiento secundario*: Proceso biológico que utiliza bacterias aerobias o anaerobias como un primer paso para remover hasta cerca del 90% de los desechos biodegradables que requieren oxígeno. Entre los procesos aerobios más comunes se encuentran los de biomasa suspendida como lodos activados y los de biomasa adherida (filtros rociadores, discos biológicos), etc. Entre los anaerobios encontramos filtros facultativos y Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), entre los más importantes. La remoción de los contaminantes generalmente es: DBO del 74%, SST del 55%, turbiedad del 74%, TKN del 53% y fosfatos del 28% (Metcalf-Eddy, 2003).
4. *Tratamiento terciario*: Busca eliminar los contaminantes orgánicos, los nutrientes como los iones fosfato y nitrato o cualquier exceso de sales minerales. Entre las operaciones que se utilizan están: la microfiltración, la coagulación y precipitación, la adsorción por carbón activado, el intercambio iónico, la ósmosis inversa, la electrodiálisis, la cloración y la ozonización. La remoción de los contaminantes en este nivel de tratamiento es: DBO del 5%, SST del 4%, turbiedad del 14%, TKN del 0% y fosfatos del 54% (Metcalf-Eddy, 2003).
5. *Avanzado*: se busca la remoción de disolventes y la materia suspendida remanente después del tratamiento biológico cuando se requiere de varias aplicaciones para la reutilización del agua.

## 2.2 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL DISTRITO FEDERAL

En la Ciudad de México se cuenta con 27 plantas de tratamiento de aguas residuales, con un caudal de operación de  $2.8 \text{ m}^3/\text{s}$ . La **Tabla 2.3** presenta el caudal tratado, la reutilización que se le da al agua tratada en cada una de las localidades y el detalle de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Del total de plantas, 26 cuentan con el tratamiento de lodos activados y sólo una cuenta con un tratamiento primario avanzado. En su conjunto estas plantas tratan  $2.77 \text{ m}^3/\text{s}$  de aguas residuales con sistemas de lodos activados y  $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$  con el tratamiento primario avanzado.

Debido esta importancia de los procesos biológicos, surge el interés de evaluar su eficiencia de remoción basada en los parámetros tradicionales y utilizar una herramienta versátil como lo es el tamaño de partículas.

### *2.2.1 Planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria (PTAR CU)*

La PTAR CU cuenta con tres procesos biológicos diferentes; lodos activados, discos biológicos y filtro rociador, que funcionan en paralelo.

En su inicio el agua residual es conducida por gravedad hasta el punto de llegada de la planta a través de tres colectores (García, 2007):

1. Zona antigua (Estadio Olímpico y colecta el agua de los edificios que se encuentran en el área central).
2. Zona de Institutos, Escuela Nacional de Trabajo Social, camino verde, Instituto de Ecología, Zona deportiva, e Instituto de Ingeniería, y desde hace 3 años se incluye la zona conocida como la manzana de la Investigación Científica.
3. Zona Copilco el Alto. La fuente constante de agua residual cuando no se tiene actividad dentro de la Ciudad Universitaria.

Los objetivos principales de la planta son: *a)* abastecer agua para el riego de las áreas verdes en Ciudad Universitaria, *b)* servir de apoyo a la investigación universitaria brindando facilidades para el desarrollo de proyectos y *c)* servir de apoyo a la docencia.

### *2.2.2 Parámetros de control*

En el laboratorio de la planta se realiza la determinación de los siguientes parámetros sobre muestras compuestas para llevar el control del proceso, estos son: DQO, SST, sólidos suspendidos volátiles (SSV), sólidos suspendidos fijos (SSF),  $\text{DBO}_5$ , conductividad, turbiedad, pH, grasas y aceites, demanda de cloro, cloro residual, coliformes totales, cianuros y metales (García, 2007).



**Tabla 2.3** Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación en el Distrito Federal (Modificado de SEMARNAT, CONAGUA, Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación, 2007).

MUNICIPIO	LOCALIDAD	NOMBRE DE LA PLANTA	PROCESO	CAPACIDAD INSTALADA (L/s)	CAUDAL TRATADO (L/s)	CUERPO RECEPTOR O REÚSO	OBSERVACIONES
Azcapotzalco	Azcapotzalco	U. H. El Rosario	Lodos activados	25	20	Riego de áreas verdes, llenado del lago parque teozomoc	Opera SACM
Coyoacan	Coyoacan	Cd. Universitaria	Lodos activados	60	23	Áreas verdes	Operada por la UNAM
Coyoacan	Coyoacan	Cd. Universitaria "FCPS"	Otro	7.5	0.8	Áreas verdes	Operada por la UNAM
Coyoacan	Coyoacan	Coyoacan	Lodos activados	400	150	Áreas verdes e industrial	Opera SACM
Cuauhtemoc	Cuauhtemoc	U. H. Nonoalco Tlatelolco	Lodos activados	22	18	Áreas verdes e industrial	Opera SACM
Gustavo A. Madero	Gustavo A. Madero	Acueducto de Guadalupe	Lodos activados	110	102	Áreas verdes e industrial	Concesionada "Aguas Industriales de Vallejo SA de CV"
Gustavo A. Madero	Gustavo A. Madero	San Juan de Aragón	Lodos activados	500	198	Áreas verdes, llenado de lago y alameda oriente	Opera SACM
Iztacalco	Iztacalco	Cd. Deportiva	Lodos activados	230	107	Áreas verdes e industrial	Opera SACM
Iztacalco	Iztacalco	U. H. Picos Iztacalco	Lodos activados	13	10	Áreas verdes	Opera SACM
Iztapalapa	Iztapalapa	Cerro de la Estrella	Lodos activados	4,000.00	1,733.00	Áreas verdes, industrial, zona agrícola y chinampas de Tláhuac y Xochimilco	Opera SACM
Iztapalapa	Iztapalapa	Santa Martha Acatitla	Lodos activados	14	8	Áreas verdes	Inició operación en 2005
Miguel Hidalgo	Miguel Hidalgo	Bosques de las Lomas	Lodos activados	55	25	Áreas verdes Delegación Miguel Hidalgo	Opera SACM
Miguel Hidalgo	Miguel Hidalgo	Campo militar no. 1-A	Lodos activados	30	25	Áreas verdes	Opera SEDENA
Miguel Hidalgo	Miguel Hidalgo	Lomas de Chapultepec	Lodos activados	160	110	Áreas verdes, llenado de lago	Opera SACM

MUNICIPIO	LOCALIDAD	NOMBRE DE LA PLANTA	PROCESO	CAPACIDAD INSTALADA (L/s)	CAUDAL TRATADO (L/s)	CUERPO RECEPTOR O REÚSO	OBSERVACIONES
Milpa Alta	San Pedro Atocepan	San Pedro Atocepan	Lodos activados	60	35	Riego agrícola	Opera SACM
Tlahuac	San Andres Mixquic	San Andres Mixquic	Primario avanzado	30	30	Riego de hortalizas	Opera SACM
Tlahuac	San Juan Ixtayopan	Paraje el Llano	Lodos activados	250	30	Riego agrícola y recarga del acuífero	Opera SACM
Tlahuac	San Juan Ixtayopan	San Juan Ixtayopan (LaLupita)	Lodos activados	15	14	Zona agrícola	Opera SACM
Tlahuac	San Nicolás Tetelco	San Nicolás Tetelco	Lodos activados	30	7	Zona agrícola	Opera SACM
Tlahuac	San Nicolás Tetelco	Tetelco	Lodos activados	15	3	Barranca	Opera SACM
Tlahuac	Tlahuac	San Lorenzo	Lodos activados	225	28	Llenado de canales y recarga del acuífero	Opera SACM
Tlalpan	Parres (el guardia)	Parres	Lodos activados	8	1	Áreas verdes	Opera SACM
Tlalpan	Tlalpan	Abasolo	Lodos activados	15	7	Áreas verdes	Opera SACM
Tlalpan	Tlalpan	H. Colegio Militar	Lodos activados	20	26	Áreas verdes	Requiere ampliación / opera SEDENA
Tlalpan	Tlalpan	San Miguel Xicalco	Lodos activados	8	4	Áreas verdes	Opera SACM
Tlalpan	Tlalpan	U. H. PEMEX Picacho	Lodos activados	13	10	Áreas verdes	Opera SACM
Xochimilco	Xochimilco	Reclusorio Sur	Lodos activados	30	19	Riego áreas verdes reclusorio.	Opera SACM
Xochimilco	Xochimilco	San Luis Tlaxiatalmalco	Lodos activados	150	65	Agrícola/áreas verdes	Opera SACM
Total Plantas			27	6,480.50	2,805.80		

## 2.3 CONSTITUYENTES IMPORTANTES EN LA CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES

Al utilizar el agua se le incorporan diversas sustancias en forma suspendida, coloidal o disuelta que la contaminan y degradan su calidad. Las aguas tienen restricciones en cuanto a sus usos debido a los agentes que la contaminan (Noyola, 1992).

Entre los principales grupos de contaminantes del agua se encuentran los sólidos suspendidos (causan azolvamiento y sedimentación en los cuerpos receptores), materia orgánica biodegradable (tiende a abatir el oxígeno disuelto en los cuerpos receptores y provocan el crecimiento incontrolado de microorganismos), materia orgánica (se acumula en los cuerpos receptores e induce riesgos de toxicidad), nitrógeno y fósforo (aunque son nutrientes, el exceso de éstos causa eutroficación en los cuerpos de agua) color y turbiedad (interfieren en el paso de la luz solar y dan mal aspecto a la vista), grasas y aceites (tienden a acumularse en drenajes y cuerpos de agua e impiden la transferencia natural de oxígeno), sales inorgánicas (imposibilitan el reúso del agua tratada), metales pesados (al ser compuestos tóxicos impactan la salud humana y a los cuerpos receptores) y patógenos (estos provocan varios tipos de enfermedades).

La **Tabla 2.4** presenta las concentraciones típicas de los constituyentes del agua residual, para los cuales se observa que de acuerdo a la concentración se clasifican en alta, media y baja.

**Tabla 2.4** Composición típica de las aguas residuales domésticas no tratadas (Modificado de Metcalf-Eddy, 2003)

Constituyente	Concentración (mg/L)		
	Alta	Media	Baja
Sólidos Totales	1230	720	390
Sólidos Disueltos Totales	860	500	270
Sólidos Suspendidos Totales	400	210	120
Sólidos Sedimentables	20	10	5
Demanda Bioquímica de Oxígeno - DBO <sub>5</sub>	350	190	110
Demanda Química de Oxígeno - DQO	800	430	250
Nitrógeno (total como N)	70	40	20
Nitrógeno Orgánico	25	15	8
Nitrógeno Amoniacal	45	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo (total como P)	12	7	4
Fósforo Orgánico	4	2	1
Fósforo Inorgánico	8	5	3
Cloruros	90	50	30
Grasa y Aceites	100	90	50

De acuerdo con SEMARNAT y CONAGUA 2008, la calidad del agua residual se evalúa con la presencia tres indicadores: la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), la Demanda

Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). La DBO<sub>5</sub> determina la cantidad de materia orgánica biodegradable y la DQO mide la cantidad total de materia orgánica así como la presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales, se utilizan para determinar la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua provenientes principalmente de las descargas de aguas residuales, de origen municipal y no municipal que afectan los ecosistemas acuáticos. Los SST tienen su origen en las aguas residuales y la erosión del suelo, además, el incremento de los niveles de SST hace que un cuerpo de agua pierda la capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática.

La descarga en los sistemas de alcantarillado municipales urbanos y rurales de la DBO<sub>5</sub> en México es de 2.07 millones de toneladas al año (SEMARNAT, CONAGUA, 2008).

## 2.4 NORMATIVIDAD

En materia de agua existen tres Normas Oficiales Mexicanas, que son la NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales; la NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal y la NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. También existe el Acuerdo CE-CCA-001/89, en el que se establecen los criterios ecológicos de calidad del agua.

De éstas y con fines del estudio únicamente se tomará en cuenta la NOM-003-SEMARNAT-1997 debido a que el agua de la PTAR CU se utiliza en riego de las áreas verdes del campus universitario, la norma restringe los parámetros siguientes:

**Tabla 2.5** Límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas tratadas

Tipo de reúso	Promedio mensual				
	Coliformes fecales NMP/100 mL	Huevos de helminto (HH/L)	Grasas y aceites (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	SST (mg/L)
Servicio al público con contacto directo.	240	≤ 1	15	20	20
Servicio al público con contacto indirecto u ocasional.	1,000	≤ 5	15	30	30

El cumplimiento de estos parámetros en las plantas de tratamiento de aguas residuales es necesario, considerando esencialmente la protección a la salud pública cuando el servicio es con contacto directo o indirecto.

---

---

## 2.5 MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE CONTAMINANTES EN LAS AGUAS RESIDUALES Y TRATADAS

Debido a cuestiones económicas, el monitoreo de la calidad de agua se realiza de manera parcial. Para los patógenos, existen técnicas analíticas para su determinación que son costosas y que requieren de un tiempo prolongado para su realización.

Aunado a este problema, los parámetros no específicos tales como la DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, turbiedad, etc., representan sólo un valor cualitativo que proporciona información global sobre el material presente o de sus efectos. Estos contaminantes se encuentran mezclados de manera heterogénea en un intervalo amplio de tamaños y pesos moleculares.

En la actualidad, las técnicas de conteo de partículas están siendo aceptadas en la industria de tratamiento de agua potable y utilizada en el tratamiento de aguas residuales. Cada vez más, se está empleando como un instrumento efectivo que da información confiable y rápida para evaluar las metas implementadas en términos de calidad de agua (AWWA, Research Foundation, 2000).

En la última década han ocurrido cambios significativos en el tratamiento de las aguas residuales y potables, éstos son dados por los cambios en las normas que cada vez son más estrictas en términos de la calidad del agua que se debe de obtener y que como consecuencia exige la implementación de tecnología más avanzada para lograr los objetivos.

Los contadores de partículas son usados tanto para muestras discretas como para el conteo en línea y su objetivo principal es el de monitorear el desempeño de los procesos de tratamiento de agua y su calidad.

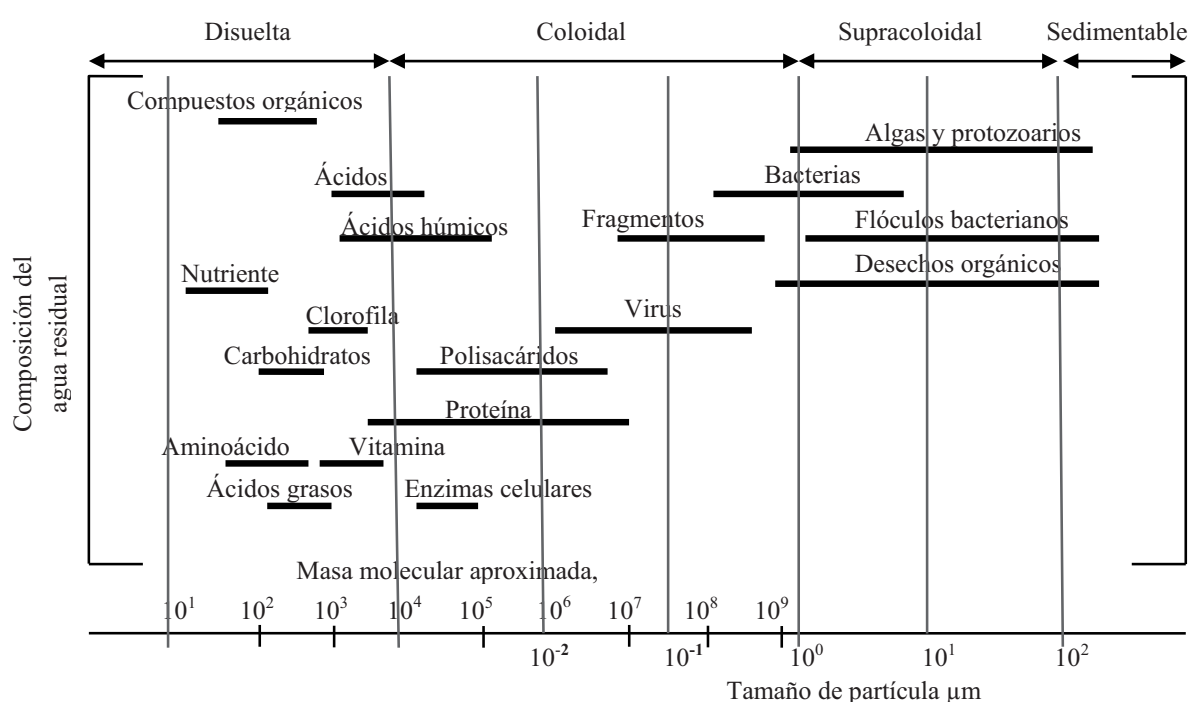
### *2.5.1 Tamaños de partículas y contaminantes en aguas residuales crudas (ARC) y tratadas (ART)*

Los contadores de partículas responden a muchos de los requerimientos en los tratamientos convencionales y los más avanzados. La determinación de los diferentes contaminantes en las aguas, por una tecnología con la que se puedan obtener resultados inmediatos aun no existe, pero la adecuación de algunos de los métodos de detección y medición puede ser utilizado para propósitos de monitoreo de la calidad del agua.

La problemática relacionada a la dificultad para medir los parámetros representativos de la calidad del agua es el tiempo requerido para la determinación de estos, ya que no se puede saber al instante la calidad que se está obteniendo, lo que implica que las adecuaciones necesarias al proceso sean de forma atrasada.

Estudios sobre la composición de aguas residuales relacionadas con los tamaños de partículas han sido establecidos por Much *et al.*, 1980; Levine 1985 y 1991; Odegaard, 1992; Boller *et al.*, 1993 y 1998; Neis y Tiehm, 1997; Adin, 1999; Lartiges *et al.*, 2001; Sophonsiri y Morgenroth, 2004; Chávez, 2004; Amuda y Alade, 2006; Xu *et al.*, 2006 y Naddeo y Belgiorno, 2007.

Entre los más importantes destacan los estudios de Levine, *et al.*, en 1985, el cual establece el contenido de materia orgánica asociada con el intervalo de 0.01 a 0.1  $\mu\text{m}$ , así como la distribución de tamaños de los contaminantes en las aguas residuales (**Figura 2.2**).



**Figura 2.2** Distribución de tamaños de los contaminantes en las aguas residuales (adaptada de Levine *et al.*, 1991)

Odegaard en 1992, analizó la remoción de bacterias para partículas menores 1  $\mu\text{m}$ , encontrando que la remoción es buena para efluentes tratados que presenten este tamaño de partículas. Boller en 1997, determinó la relación del contenido de partículas menores a 8  $\mu\text{m}$  y el contenido de microorganismos en efluentes obtenidos por diversos procesos biológicos. Neis y Tiehm en 1997, realizaron análisis de distribuciones de tamaños en efluentes primarios en algunas plantas de tratamiento encontrando cantidades variadas de contaminantes en intervalos de partículas  $>0.1\mu\text{m}$  y  $<100 \mu\text{m}$ . Adin en 1999, con base en la caracterización de efluentes municipales determinó el contenido de partículas coloidales y partículas grandes; los intervalos de tamaños de algunas se mantienen por su naturaleza mientras otros pasan a través del sistema de alcantarillado y el tren de tratamiento, las cuales emergen en el sistema debido a las interacciones químicas o bioquímicas. Lartiges *et al.*, 2001, realizó estudios en agua potable relacionando la composición con tamaños de partículas. Sophonsiri y Morgenroth en 2004, realizaron la caracterización química del agua residual municipal y el tamaño de partículas determinando el contenido de materia orgánica para tamaños mayores de 1.2  $\mu\text{m}$ .

Chávez en 2004, determinó el contenido de microorganismos presentes en una agua residual doméstica y de efluentes físico químicos por medio de la técnica de distribución de tamaño de partículas. Amuda y Alade en 2006, obtuvieron resultados de la distribución de tamaños de partículas después de una filtración en un tratamiento de coagulación/floculación y de la sedimentación para intervalos de tamaños de 0-10  $\mu\text{m}$ . Xu *et al.*, en 2006, determinaron la relación entre las eficiencias de remoción de los contaminantes y la distribución del tamaño de partículas de los contaminantes del agua residual tratada por un Tratamiento Primario Avanzado, trabajando en intervalos de 0.2  $\mu\text{m}$  y >1.2  $\mu\text{m}$ . Naddeo y Belgiorno en 2007, en una planta con un proceso biológico determinaron la remoción de contaminantes y se comparó con el tamaño en un intervalo de partículas de 0-130 $\mu\text{m}$ .

Así, se muestra que la distribución del tamaño de partículas (DTP) es una herramienta utilizable para la implementación de métodos modernos de cuantificación de contaminantes en las aguas residuales y tratadas.

## 3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

---

En México, el monitoreo de la calidad del agua residual y tratada es incipiente debido a dos factores: al costo que representa la determinación de cada uno de los parámetros involucrados y a la falta de una técnica analítica alterna que a su vez sea rápida y confiable. La eficiencia de los procesos de tratamiento de agua residual depende de la remoción tanto de la fracción soluble como de la fraccionada y es posible relacionar el contenido de contaminantes con el número y/o volumen de las partículas. Es importante desarrollar métodos que permitan caracterizar y cuantificar los contaminantes en el agua residual con el fin de evaluar su desempeño de manera rápida y servir como una herramienta útil para la optimización.

### 3.1 OBJETIVO

Evaluar a través del tamaño de partícula el desempeño de operación de tres procesos de tratamiento biológico de aguas residuales municipales.

Establecer las relaciones que existen entre diversos intervalos de tamaño de partículas y el contenido de contaminantes básicos (medidos como  $\text{DBO}_5$ ,  $\text{DQO}_t$ , SST,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , turbiedad y color aparente) presentes en las aguas residuales y tratadas.

### 3.2 HIPÓTESIS

El desempeño de los procesos biológicos puede ser determinado de forma rápida y certera a través del tamaño de partículas por la relación que existe entre los parámetros tradicionales y los intervalos de tamaño de partículas.

### 3.3 METAS

1. Obtener la distribución de diversos parámetros de evaluación de calidad de agua para diferentes tamaños de partículas.
2. Determinar el porcentaje de remoción de diversos contaminantes físicos y químicos en los procesos de discos biológicos, lodos activados y filtro rociador (efluentes secundarios).
3. Evaluar el desempeño de los tratamientos de discos biológicos, lodos activados y filtro rociador considerando la distribución del tamaño de partículas.
4. Evaluar la eficiencia de remoción y el desempeño del sistema de filtración (tratamiento terciario).



### 3.4 ALCANCES

La investigación se llevó a cabo en la PTAR CU, por lo que los resultados sólo son válidos para los procesos de la PTAR CU y bajo sus condiciones de operación establecidas.

Los intervalos de tamaño con la distribución de tamaño de partículas (DTP) fueron de 1  $\mu\text{m}$  hasta 60  $\mu\text{m}$  en promedio.

Las distribuciones de partículas fueron obtenidas por el principio de corriente eléctrica y no se pueden comparar con las obtenidas por otras técnicas de conteo de partículas ya que difieren en el principio de medición (ver Capítulo 4).

El estudio de conteo de partículas se realizó durante el estiaje (abril y mayo) y sólo aplica para la calidad obtenida durante ésta época.

## 4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

---

### 4.1 TAMAÑO DE PARTÍCULAS EN LAS AGUAS RESIDUALES

Los contaminantes presentes en las aguas residuales varían en un intervalo entre 0.001 y 100  $\mu\text{m}$ , del cual una parte está como soluble y la otra parte fraccionada. Si se determina la distribución del contenido de los contaminantes se pueden asociar con diversos intervalos de tamaños de partículas. Los porcentajes encontrados para los diferentes constituyentes de las aguas residuales y tratadas tienen pequeñas variaciones debidas a factores tales como la técnica utilizada para la determinación de las distribuciones de tamaños, el tipo de agua residual (industrial o municipal) y el tratamiento al cual ha sido sometida.

Las partículas en las aguas residuales se clasifican en cuatro intervalos de tamaños, disueltas ( $<0.001 \mu\text{m}$ ), coloidales ( $0.001-1 \mu\text{m}$ ), supracoloidales ( $1-100 \mu\text{m}$ ) y sedimentables ( $>100 \mu\text{m}$ ), las aguas residuales municipales son mezcla de contaminantes orgánicos y minerales, su distribución de tamaños se encuentra en un amplio intervalo (Levine *et al.*, 1991 y Azema *et al.*, 2002). Aunque los intervalos de tamaños varían con diferentes autores, el que se utiliza mayormente es establecido por Levine *et al.*, 1991.

Adin en 1999, hace referencia que los efluentes municipales son una suspensión coloidal y de partículas grandes, los intervalos de algunas partículas se mantienen por su naturaleza, otras pasan a través del sistema de alcantarillado y del tratamiento, y debido a interacciones químicas o bioquímicas se transforman. Las partículas que forman parte de la fracción coloidal presentan un problema especial en los tratamientos de agua residual y en las operaciones para su reutilización; ya que estas partículas en el agua residual llevan cargas negativas altas, por lo que la desestabilización de éstas es un paso esencial para una separación efectiva.

Schubert y Günthert en 2001, realizando estudios en tanques de sedimentación, obtienen que en promedio el 90% de las partículas son menores de 30  $\mu\text{m}$ . El tamaño de estas partículas juega un papel decisivo en el comportamiento de la sedimentación de sólidos, ya que las partículas pequeñas necesitan tiempos mayores de sedimentación que no son favorables en los tanques de sedimentación comúnmente.

Sophonsiri y Morgenroth en 2004, realizando una caracterización del agua residual tratada por procesos biológicos determinaron que la materia particulada ( $> 1.2 \mu\text{m}$ ) constituye una fracción significativa (45%) de la materia orgánica que entra en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, las características específicas de las aguas residuales generalmente no son determinadas durante la caracterización convencional de éstas.

Amuda y Alade en 2006, con los resultados de la distribución de tamaños de partículas para un proceso de coagulación/floculación, llegan a la conclusión de que éstos son de gran importancia para determinar cuándo una filtración es efectiva en el sistema de tratamiento, o es requerida seguida de la sedimentación del proceso de coagulación/floculación.

Naddeo y Belgiorno en 2007, estudiaron la eficiencia de la filtración terciaria, las partículas más grandes representan una fracción de volumen dominante (80%), la remoción del volumen de partículas puede ser un buen indicador del desempeño de la remoción de SST, efectos de diseño y parámetros de operación.

#### 4.1.1 Tamaño de partícula y materia orgánica

Algunos de los estudios referentes a los tamaños de partículas en aguas residuales proporcionan información importante y necesaria para describir la relación existente entre el contenido de contaminantes de las aguas residuales y el tamaño de las partículas, que pueden servir como herramienta para el diseño u operación de los tratamientos de las aguas residuales.

Levine *et al.*, 1991, muestra la recopilación de diversos estudios relacionados con las concentraciones de materia orgánica en diferentes intervalos determinados para diferentes fracciones de tamaños en aguas residuales, determinando que del 63 – 75% de la materia orgánica se asocia con las partículas mayores a 0.1  $\mu\text{m}$ .

Tchobanoglous *et al.*, en 1998, con aguas residuales tratadas en un proceso de lodos activados determinó el desempeño de membranas de filtración. La remoción de la DBO para un efluente secundario antes de la filtración fue de 61.4% y de la DQO 41.3%. La remoción para el efluente secundario después de la filtración fue de 87.5 y 78.8% respectivamente después de la filtración con membrana.

Sophonsiri y Morgenroth en 2004 realizaron estudios en el efluente secundario de un proceso de lodos activados determinaron el tamaño de partículas y la caracterización química del agua residual municipal, establecieron que el 47% de la materia orgánica medida como DQO se encuentra en la parte soluble ( $< 0.08 \mu\text{m}$ ). El 12% en la parte coloidal ( $0.08 - 1 \mu\text{m}$ ), el 18% en la parte supracoloidal ( $1 - 100 \mu\text{m}$ ) y el 23% en la parte sedimentable ( $> 100 \mu\text{m}$ ).

Nieuwenhuijzen *et al.*, 2004 determinaron la composición de diferentes aguas residuales fraccionadas del tratamiento primario de trece plantas de tratamiento de aguas residuales. Los valores obtenidos fueron los siguientes: el 33% y el 39% en la parte disuelta ( $< 0.45 \mu\text{m}$ ), el 6% y el 4% en la parte coloidal ( $0.45 - 1 \mu\text{m}$ ), el 1% y el 2% en la parte supracoloidal ( $1 - 5 \mu\text{m}$ ), el 33% y el 29% en la parte suspendida ( $1 - 5 \mu\text{m}$ ), el 27% y el 26% en la parte sedimentable ( $> 45 \mu\text{m}$ ), para la DQO y la  $\text{DBO}_5$  respectivamente.

Xu *et al.*, en 2006, analizaron la distribución de diferentes contaminantes en aguas residuales municipales y tratadas por un tratamiento primario avanzado, determinando que los valores encontrados de DQO van entre 40 y 51% para partículas menores a 0.2  $\mu\text{m}$ , el 6.4% entre partículas de 0.2 a 1.2  $\mu\text{m}$  y el 53.5% corresponde a partículas  $> 1.2 \mu\text{m}$ . En lo que corresponde a la turbiedad el 98.1% del total es causado por partículas  $> 1.2 \mu\text{m}$ , mostrando poca variación con distintas dosis de coagulante utilizadas en sus estudios.

Naddeo y Belgiorno en 2007, realizaron estudios en el tratamiento terciario en una planta de tratamiento basada en un proceso biológico con lodos activados y que trata descargas domésticas e industriales, el promedio medido de remoción para SST, DBO y DQO

comparado con el número de partículas totales removidas para los SST es del 60% al 85%, para el OD es del 30% al 35% y para la DQO es del 30% en un intervalo de partículas de 0 - 130µm.

#### 4.1.2 *Tamaño de partícula y nutrientes*

Nutrientes tales como el fósforo y el nitrógeno son componentes que deben de tener un crecimiento limitado en los ecosistemas naturales. Estos nutrientes son una fuente de alimentación importante para organismos y su crecimiento normal; y de igual manera, algunas veces son incorporados en exceso de los requerimientos normales. Nutrientes no usados o no metabolizados son descargados dentro del medio ambiente causando impactos como la eutroficación y cambios ecológicos.

En los estudios de Odegaard, 1992, 1998; Nies y Thiem, 1999; Thiem, 1999; Lartigues *et al.*, 2001; evaluaron el contenido de nutrientes tales como el fósforo y el nitrógeno en las aguas residuales determinando que la mayor parte corresponde a la fracción soluble, y para las aguas residuales tratadas la distribución del fósforo depende del proceso debido a que éste constituyente se encuentra asociado con los sólidos en los efluentes. Con respecto al nitrógeno, básicamente se encuentra en la parte soluble.

Por otra parte, Cripps en 1995, analizó el agua residual efluente una granja de peces en el cual a la parte particulada la dividió de manera serial en siete fracciones desde 5 hasta 200 µm. En su estudio determinó que la mayor parte del fósforo se encuentra como la fracción particulada mientras que es menos el nitrógeno que se encuentra en forma particulada en relación con el nitrógeno disuelto.

Otros estudios realizados por Nieuwenhuijzen *et al.*, en 2004, determinaron que el fósforo distribuido en la fracción sedimentable es sólo el 11%, mientras que el 25% corresponde a partículas coloidales y solubles, del cual el 64% es soluble. Para el nitrógeno, solo el 7% se distribuyó en la fracción sedimentable, el 15% en la fracción coloidal y suspendida y el 78% del nitrógeno está presente en forma soluble, principalmente como nitrógeno amoniacal.

#### 4.1.3 *Tamaño de partículas y desempeño de procesos de tratamiento*

En los últimos años se ha estudiado la eficiencia de diferentes etapas de los procesos de tratamiento de aguas residuales comparándola con la distribución de tamaños de partículas a la entrada y a la salida de estos. La mayoría coinciden en que es necesaria la caracterización de los contaminantes en diferentes intervalos de tamaños para determinar capacidades de remoción.

Los objetivos de calidad en el tratamiento de las aguas residuales están típicamente definidos en términos de parámetros no específicos tales como DBO<sub>5</sub>, DQO y SST. Sin embargo, en las aguas residuales la materia se encuentra mezclada de manera heterogénea en un amplio intervalo de tamaños de partículas (Azema *et al.*, 2002) y peso molecular; muchos procesos involucrados en los tratamientos (sedimentación, transferencia de masa, adsorción, difusión,

reacciones bioquímicas, filtración) son afectados por el tamaño de las partículas (Marquet *et al.*, 1999).

Aguilar *et al.*, en 2003, explica que las aguas residuales contienen partículas con una amplia variedad de formas, tamaños, densidades, etc., lo cual influye en la capacidad para ser removidas. Los procesos de separación sólido – líquido que se emplean en el tratamiento de aguas residuales están enfocados en propiedades físicas y químicas de las partículas para obtener su separación rápida y económica en las aguas tratadas. Encontrando que la eficiencia de remoción de las partículas es del 87% cuando se adiciona como coagulante el sulfato férrico, el 78% con sílica activada, el 93% con alcohol polivinilo y hasta del 99% con poliacrilamida aniónica.

Sophonsiri y Morgenroth en 2004, realizaron una caracterización más detallada de la materia orgánica particulada en las corrientes de aguas residuales, esto es, considerándola como la suma de proteínas, carbohidratos y lípidos. Concluyen que caracterizar las aguas de esta forma es necesario para mejorar no sólo las separaciones sólido – líquido sino también los procesos biológicos para el tratamiento de las aguas residuales ya que en los procesos biológicos se modifica la composición química de los remanentes de materia orgánica.

Nieuwenhuijzen *et al.*, en 2004, con estudios realizados en plantas de tratamiento muestran que una más detallada caracterización de la materia particulada en las aguas residuales municipales da un mejor entendimiento y predicción de las eficiencias de remoción de las técnicas de tratamiento físico – químico y la aplicación de las dosis óptimas de químicos. Tales caracterizaciones deberían incluir las distribuciones de los contaminantes sobre varios tamaños de partículas.

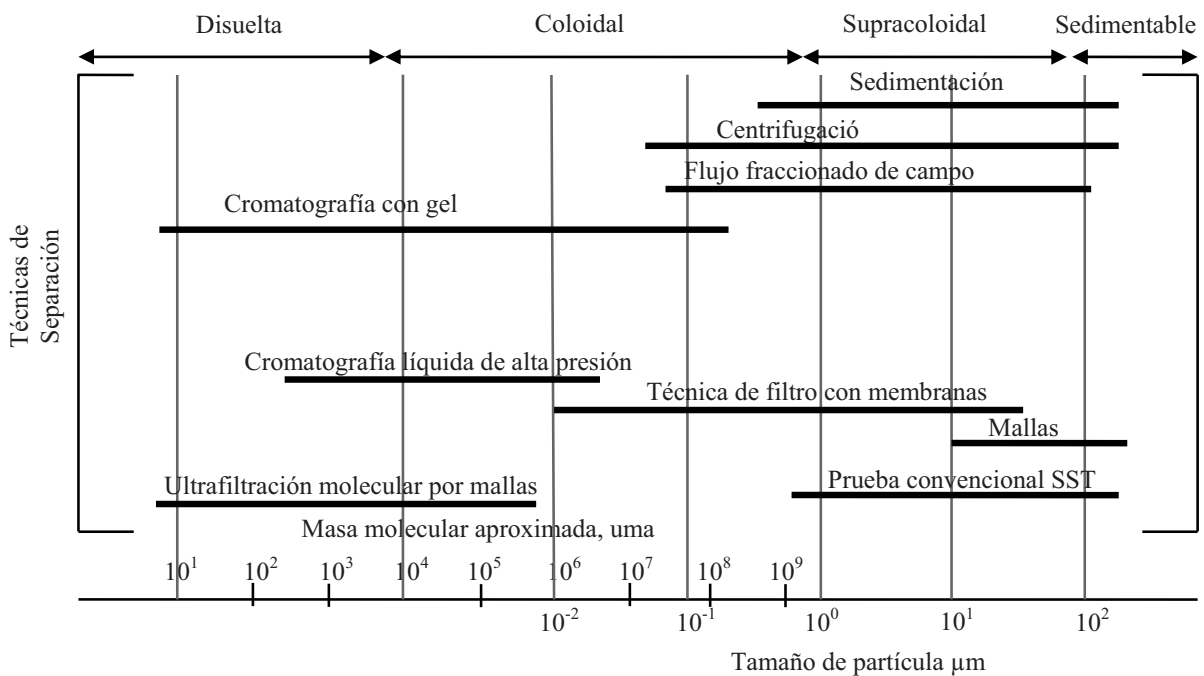
Xu *et al.*, en 2006, en sus estudios destacan que la relación entre los contaminantes presentes y la distribución del tamaño de partículas afectan la capacidad de remoción de un proceso de Tratamiento Primario Avanzado (TPA). Concluyen que para partículas mayores a 1.2  $\mu\text{m}$  la eficiencia de remoción es muy alta mientras que las partículas menores de 0.2  $\mu\text{m}$  dificultan el tratamiento. Se demuestra que es esencial el estudio de la distribución del tamaño de las partículas y de los contaminantes asociados sistemáticamente para entender los mecanismos de remoción de los contaminantes de las aguas residuales.

Amuda y Alade en 2006, estudiaron los tratamientos fisicoquímicos (floculación / coagulación) para tratar las aguas residuales determinando una remoción máxima de DQO y SST, desde 89 hasta 95% en ambos casos, relacionándolos con partículas cuyo diámetro circular equivalente fue menor a 10 $\mu\text{m}$ . Concluyen que los resultados de la distribución de tamaño de partículas son importantes para determinar si un sistema de filtración podría ser efectivo.

Naddeo y Belgiorno en 2007, determinan que la filtración como un paso terciario ha tenido un efecto substancial en la eficiencia de los tratamientos de aguas residuales para remover la DBO<sub>5</sub>, DQO y SST, promoviendo un efectivo impacto en la calidad de los cuerpos de agua y mejorando las eficiencias en desinfección que permite la descarga en sistemas altamente protegidos. La eficiencia de diseño y los parámetros de operación de filtros terciarios son discutidos en términos de la remoción de partículas.

## 4.2 TÉCNICAS DE SEPARACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS

En el caso de los contaminantes de las aguas residuales, no todas las técnicas son igualmente efectivas para la caracterización de su distribución de tamaño debido a la variedad de la naturaleza de las partículas. Por otro lado, los métodos de toma de muestra, preservación y pretratamiento tienen un impacto significativo en los resultados de los tamaños de partículas. Como lo puede ser en el retraso entre el muestreo y el análisis ya que estos detalles pueden fomentar la sedimentación y distorsionar la distribución de las partículas, el mezclado y la dilución pueden causar el rompimiento de las partículas llevando al conteo de tamaño erróneo. La **Figura 4.1** muestra algunas de las técnicas de separación de partículas para la determinación de tamaños.



**Figura 4.1** Tamaños y técnicas de separación en las aguas residuales (adaptada de Levine *et al.*, 1991)

### 4.2.1 Determinación de tamaño por mallas (tamizado)

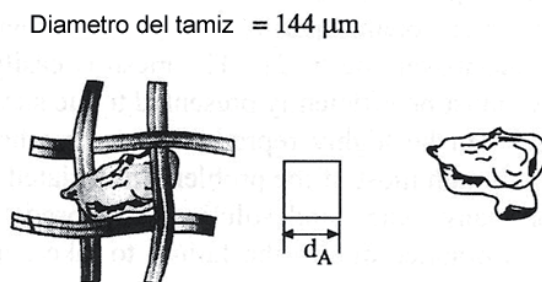
Muchos tamices son utilizados únicamente para la clasificación de polvos, y en un inicio no se realizaban pruebas de tamizado hasta que surgió la estandarización de los tamaños de apertura en los tamices.

El tamizado consiste en ubicar una muestra de polvo dentro de tamiz contenedor de un tamaño fijo de apertura, y agitar el tamiz de tal forma que las partículas puedan pasar a través de la apertura.

Para aumentar la velocidad del análisis y obtener una mayor distribución de tamaño, varios tamices son apilados uno sobre otro, el tamiz que contiene la apertura más amplia se ubica en la parte superior y el de la apertura más estrecha en el fondo que a su vez cuenta con un recipiente para la captura de los polvos y partículas finas.

La columna de tamizado es vibrada hasta que el residuo de cada contenedor de partículas pueda pasar a través de los tamices más altos pero va quedándose en los tamices bajos.

La separación por tamizado es una función de la partícula únicamente en dos dimensiones como se observa en la **Figura 4.2**, la amplitud máxima y el espesor máximo. Para pocas partículas que son excesivamente largas, esta longitud no afecta el paso de la partícula a través de las aperturas de los tamices.



**Figura 4.2** Tamiz y tamaño de partícula

En la actualidad se encuentran disponibles una amplia variedad de aperturas de tamices, y estos están clasificados como gruesos (4 mm a 100 mm), medianos (0.2 mm a 4 mm) y finos (menores que 0.2 mm). El Intervalo de los finos se extiende hasta los 37  $\mu\text{m}$  con tamices de tejido de alambre pero su tolerancia no es amplia por lo que limita su aceptación (Richardson *et al.*, 2002 y Allen, 2003).

En la **Tabla 4.1** se presentan las diversas aperturas de tamiz que se encuentran en el mercado y el tamaño de malla que le corresponde.

**Tabla 4.1** Dimensión nominal de tamices finos estándar

Apertura del Tamiz (mm)	USA estándar ASTM E 11-61	Número de malla Tyler (malla/in.)	British estándar (malla/in.)
0.037	400	400	—
0.044	325	325	—
0.045	—	—	350
0.053	270	270	300
0.063	230	250	240
0.074	200	200	—
0.075	—	—	200
0.088	170	170	—
0.090	—	—	170
0.105	140	150	150
0.125	120	115	120
0.149	100	100	—

Apertura del Tamiz (mm)	USA estándar ASTM E 11-61	Número de malla Tyler (malla/in.)	British estándar (malla/in.)
0.150	—	—	100
0.177	80	80	—
0.180	—	—	85
0.210	70	65	72
0.250	60	60	60
0.297	50	48	—
0.300	—	—	52
0.354	45	42	—
0.355	—	—	44
0.420	40	35	35
0.500	35	32	30
0.595	30	28	—
0.600	—	—	25
0.707	25	24	—
0.710	—	—	22
0.841	20	20	—
1.00	18	16	16
1.19	16	14	—
1.20	—	—	14
1.41	14	12	—
1.68	12	10	10
2.00	10	9	8

Una distribución de tamaños dada por la operación de tamizado depende de variables tales como lo son la duración del tamizado, la variación de la apertura del tamiz, el desgaste, errores de observación y experimentación, errores de muestreo y por el efecto de diferentes equipos y operación.

El tamizado de las partículas se puede hacer en seco para separar polvos en diferentes distribuciones de tamaños. El tamizado húmedo se ha utilizado para evaluar la susceptibilidad de los agregados estructurales a la degradación. La **Tabla 4.2** contiene algunos de los equipos comerciales de tamizado.

**Tabla 4.2** Equipos de agitación con tamizado seco y húmedo.

Tamizado seco.	Tamizado húmedo.
Pascal Inclyno	Hosokawa Mikropul Micron Washsieve.
Tyler Ro-tap	Gallenkamp Gallie-Porritt
Endecott Octagon	
Endecott EFL 2000	
Endecott Star 2000	
Vorti-siv (hasta 5 $\mu\text{m}$ ).	

También se puede encontrar otros tipos de instrumentos de tamizado especializados como lo son: el tamizado por chorro de aire que usa la inyección de aire para evitar que las partículas



se adhieran entre ellas permitiendo así un mejor tamizado; el tamizado sónico y el ultrasónico transportan la muestra en una columna de aire que oscila verticalmente, la cual levanta las partículas y luego las devuelve hacia las aberturas de la malla; el tamizado cascadograph que consiste en apilar tamices del mismo tamaño para obtener polvos de un sólo tamaño a los cuales se les designa una distribución de forma de partículas y el llamado felvation que es un proceso en el cual las partículas son dispersas por fluidización, fraccionadas por decantación y separadas por tamizado (Richardson *et al.*, 2002 y Allen, 2003).

La **Tabla 4.3** presenta algunos de los estándares básicos para la comprensión más detallada de la separación de partículas por tamices tanto para la terminología como métodos y procedimientos.

**Tabla 4.3** Estándares básicos en la determinación de tamaños por tamices.

Estándar	Contenido
ASTM STP447B	Métodos analíticos, información relacionada a mallas metálicas, micromallas, etc.
ASTM E1919-97	Lista de estándares relacionados ASTM, BSI, DIN, AFNOR, JSA/JIS, etc.
ISO 23995	Describen la terminología en el análisis de mallas.
ASTM E1638-94	
ISO 9002	Estándar de pruebas certificadas de tamices y su manufactura.
BS 1796	Procedimientos estandarizados de tamizado.

#### 4.2.2 Filtración secuencial (prueba SST)

Para fraccionar las muestras de aguas residuales y tratadas se han utilizado diferentes métodos, esto es con el objeto de poder determinar los contaminantes para diferentes tamaños de apertura de poro de filtros y membranas. El fraccionar las muestras y las técnicas de determinación de tamaños de partículas se pueden utilizar de manera conjunta como parte de un método para la determinación de distribuciones de tamaño de partículas como lo reporta Metcalf & Eddy.

Los métodos analíticos usados para fraccionar muestras de aguas residuales en varios rangos de tamaños involucran combinaciones de sedimentación, centrifugación, floculación y filtración. El mayor problema con la sedimentación, centrifugación y floculación para la separación de las fracciones de partículas es el tiempo que necesitan para realizarse, sin embargo la técnica de filtración es fácil de realizar y adaptable para usar en el lugar del tratamiento de aguas residuales con requerimientos mínimos de equipos (Levine *et al.*, 1991).

Cripps en 1995, obtuvo las fracciones de las muestras de aguas residuales realizando un método de filtración serial. La filtración y el análisis de las partículas se llevo a cabo en el sitio a una hora del muestreo para reducir la posibilidad de cambios físicos y químicos que afectan los análisis. Utilizó un aparato de filtración Buchner, la filtración serial se llevó a cabo con

filtros de nylon con siete tamaños de poro distintos y membranas de celulosa, obteniéndose fracciones de aproximadamente 600 ml.

Sophonsiri y Morgenroth en 2004, obtuvieron las fracciones de tamaño individuales por medio de filtraciones en paralelo para evitar el efecto de rechazo de las membranas que llegue a causar la subestimación de componentes con bajo peso molecular y quitar el estrés a las fracciones de la filtración serial. La filtración serial ha sido usada sólo si la filtración de la muestra cargada atasca los filtros.

Por otro lado Nieuwenhuijzen *et al.*, 2004, en sus estudios, las muestras fueron fraccionadas de forma serial y paralela sobre tamices prelavados (tamices metálicos) y membranas filtrantes de cinco tamaños de poro (desde 45  $\mu\text{m}$  hasta 0.1  $\mu\text{m}$ ). Los filtrados para ese paso de la filtración se analizaron para diferentes contaminantes. A las fracciones de las aguas residuales se les determinó por cálculo las concentraciones de los filtrados sobre intervalos específicos de tamaños de partículas.

#### 4.2.3 Determinación de tamaño de partículas por sedimentación gravitacional

El método para la determinación del tamaño de partícula por sedimentación gravitacional se basa en el comportamiento de una esfera simple en una solución, bajo gravedad, en un fluido de extensión infinita. Se ha encontrado que para poder describir la relación entre la velocidad en una solución y el tamaño de la partícula es necesario relacionar un factor de arrastre y el número de Reynolds. Esta relación lleva a la ecuación de Stokes, la cual aplica un número de Reynolds bajo. Un número de Reynolds bajo y la velocidad de la solución son definidos por un diámetro equivalente de Stokes el cual, para partículas esféricas homogéneas es el diámetro físico (Richardson *et al.*, 2002 y Allen, 2003).

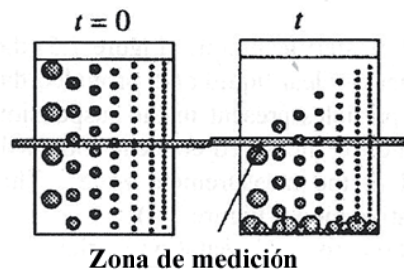
Un número de Reynolds bajo implica un flujo tipo laminar, el flujo del fluido forma líneas alrededor de la partícula que no la rompen. Cuando el número de Reynolds incrementa, se incrementa la turbulencia en el fluido y por consecuencia se incrementa el arrastre de las partículas que bien deberían asentarse en una velocidad baja como lo predice la ecuación de Stokes. En la cual si la velocidad de la solución es homogénea, es conocida la esfericidad de la partícula, el tamaño de la partícula puede ser deducido y si el tamaño es conocido la velocidad de la solución (de sedimentación) puede ser determinada (Levine *et al.*, 1991; Richardson *et al.*, 2002 y Allen, 2003).

En la **Tabla 4.4** se presentan los tipos de sedimentación que pueden ser de ambos tipos de suspensión tanto homogénea como de línea de salida, así como también pueden tener cualquiera de los dos principios de medición ya sea incremental o acumulativo, en esta primera parte se describe la sedimentación gravitacional.

**Tabla 4.4** Clasificación de las técnicas de sedimentación y su principio.

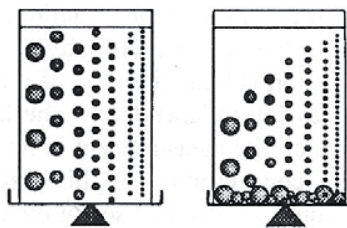
Campo de fuerza.	Tipo de suspensión.	Principio de medición.
Gravitacional.	Homogénea.	Incremental.
Centrífugo.	Línea de salida.	Acumulativo.

En la **Figura 4.3** se muestra la técnica gravitacional homogénea incremental, en la cual la concentración de sólidos (o densidad de suspensión) es monitoreada bajo la superficie en una suspensión inicial homogénea bajo la fuerza de la gravedad. La concentración permanecerá constante hasta que se presenten partículas grandes en la suspensión y estas caigan desde la superficie hasta la zona de medición. En la zona de medición el sistema estará en un estado de equilibrio dinámico de tal manera que, cuando una partícula salga de la zona, partículas similares entraran por arriba remplazando a esta. Cuando las partículas más grandes presentes en la solución sedimenten hasta la zona de medición, la concentración de partículas de gran tamaño comenzará a incrementarse en esta parte y las partículas de este tamaño ya no se encontraran en la zona de la parte de arriba. Así, la concentración será de partículas tan pequeñas como el diámetro de Stokes y un diagrama de la concentración contra el diámetro de Stokes es, en esencia la masa de la distribución inferior (Richardson *et al.*, 2002 y Allen, 2003).



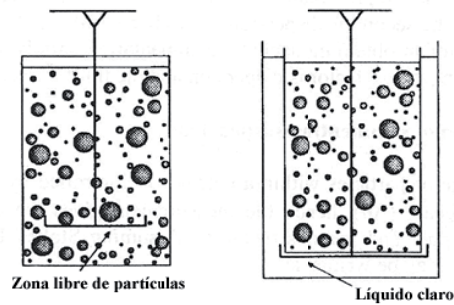
**Figura 4.3** Sedimentación gravitacional homogénea incremental

La **Figura 4.4** presenta que en la técnica gravitacional homogénea acumulativa la relación en la cual los sólidos que se asientan en la suspensión está determinada por una suspensión inicial homogénea que se sedimenta por gravedad y se acumula en el fondo donde se realiza la medición.



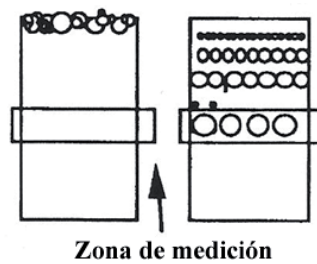
**Figura 4.4** Sedimentación gravitacional homogénea acumulativa

La **Figura 4.5** muestra la técnica tipificada por equilibrio de sedimentación, en la cual una charola de equilibrio puede estar en la suspensión, o suspendida en un líquido claro, se procura una sedimentación uniforme.

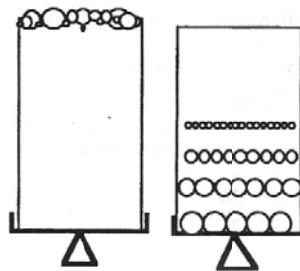


**Figura 4.5** Balance en la suspensión y balance en un líquido claro

En la **Figura 4.6** se observa la técnica gravitacional línea de salida incremental, la suspensión flota en la parte superior de un contenedor de líquido claro, las partículas caen independientemente, y las partículas de mayor tamaño presentes en la solución llegarán a la zona de medición primero y la concentración medida será la concentración de esa banda de tamaños en la zona de medición. De manera similar, esta técnica también es usada para una medición en modo acumulativo como se observa en la **Figura 4.7**.



**Figura 4.6** Sedimentación gravitacional, línea de salida, incremental



**Figura 4.7** Sedimentación gravitacional, línea de salida, acumulativa

La **Tabla 4.5** muestra algunos de los equipos comerciales utilizados para determinar el tamaño de partículas por medio de la sedimentación gravitacional para suspensiones homogénea y de línea de salida, así como para su medición de forma incremental y acumulativa.

**Tabla 4.5** Equipos de sedimentación para el análisis de tamaños de partículas.

Sedimentación Gravitacional Homogénea Incremental.	Sedimentación Gravitacional Homogénea Acumulativa.
Pipeta Andreasen	Balanza Oden
Pipeta Leschonski	Balanza Cahn
Pipeta Side- arm	Balanza Gallenkamp
Fotosedimentometro Wagner	Balanza Mettler H2OE
Fotosedimentometro EEL	Balanza Sartorius recording Sedibel
Fotosedimentometro Bound Brook	Balanza Palik torsion
Fotomicrotamaño Seishin	Balanza Kiffer con pesado continuo chain link
Fotosedimentometro de amplio angulo de escaneo Ladal	Balanza Rabatin and gale spring
Retsch Paar lumosed	Balanza Shimadzu
Fotosedimentometro Kemsis K200	Columna de sedimentación ICI
Sedimentometro ICI rayos-x	Columna de sedimentación BCURA
Micrometrics Sedigraphs 5000 & 5100	Aparato Fisher Dotts
Quantachrome Microscan	Decantación
Sedimentometro rayos-x	Escaneo $\beta$ -Back
Hidrometros	
Balanza Suito de gravedad específica	
Sedimentación Gravitacional Línea de Salida Incremental	Sedimentación Gravitacional Línea de Salida Acumulativa
Analizador MSA	Método Werner & Travis
	Granometro
	Analizador MSA

En términos generales, la sedimentación incremental se emplea cuando la suspensión es muy concentrada y la velocidad de sedimentación es relativamente alta, y la sedimentación acumulativa es utilizada preferiblemente cuando la materia en suspensión es baja, la velocidad de suspensión es muy lenta y esta se da de manera uniforme.

La **Tabla 4.6** establece algunos de los estándares básicos para la comprensión más detallada de la sedimentación tanto para métodos de análisis y procedimientos.

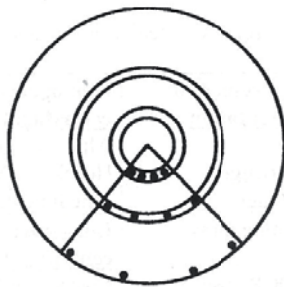
**Tabla 4.6** Estándares básicos en la determinación de tamaños por sedimentación gravitacional

Estándar	Contenido
ASTM B761	Análisis de rayos-X aplicado a refracción en metales.
ASTM C958	Análisis de rayos-X aplicado a materiales cerámicos.
DIN 66111	Describen procedimientos analíticos para algunas de estas técnicas y principio.
DIN66115	
AFNOR NFX 11-681	
AFNOR NF 11-683	
ISO/WD 13317-1	
JIS Z8820	

#### 4.2.4 Determinación de tamaño de partículas por sedimentación centrífuga

Como se mencionó en la tabla 4.4, las técnicas centrífugas pueden ser clasificadas como, homogénea o de línea de salida, e incremental o acumulativa.

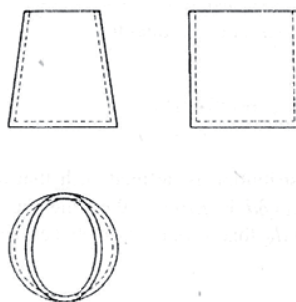
En la técnica centrífuga homogénea incremental, la materia es más compleja que para la sedimentación gravitacional homogénea incremental. Las partículas se mueven en una trayectoria radial, así pues las partículas tan pequeñas como el diámetro de Stokes que entran en la zona de medición son las de menor número y la concentración medida de esas partículas es más pequeña que la concentración inicial (Levine *et al.*, 1991; Richardson *et al.*, 2002 y Allen, 2003), tal como se observa en la **Figura 4.8**.



**Figura 4.8** Sedimentación centrífuga homogénea incremental (efecto de dilución radial)

Para la medición incremental no tiene importancia la forma de los tubos centrífugos. En la técnica de sedimentación centrífuga homogénea acumulativa, la forma de los tubos centrífugos si tiene importancia para la operación del instrumento ya que las partículas deben de viajar en trayectoria radial, un ejemplo de los tipos de tubos empleados son los mostrados en la **Figura 4.9**.

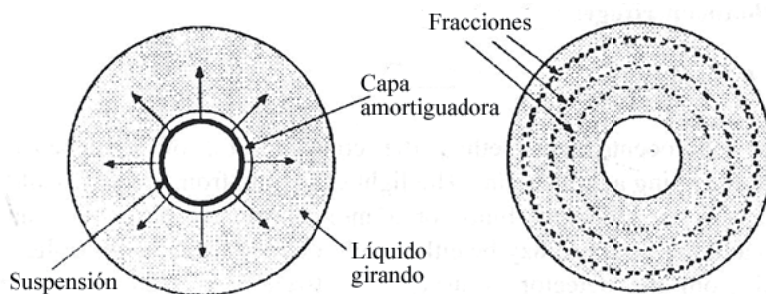
La desventaja de los tubos cilíndricos es que las partículas que sedimentan golpean la pared del tubo, se aglomeran con otras partículas en la pared y alcanzan a llegar al fondo más rápidamente que las partículas que sedimentan libremente. La fuerza oblicua de la suspensión en las paredes también ajusta corrientes de convección dentro de la suspensión. La ventaja de los tubos cilíndricos es que son de fácil construcción y pueden ser usados por centrifugas ordinarias de laboratorio (Richardson *et al.*, 2002 y Allen, 2003).



**Figura 4.9** Tubos de centrifuga conoidal Berg

En la técnica de sedimentación centrífuga de línea de salida, un disco es llenado con un líquido claro y le permite llegar a la velocidad deseada. Una pequeña cantidad de líquido buffer es introducido. La suspensión es entonces introducida en el tiempo  $t=0$ . El radio inicial es asumido a ser el punto medio del radio de la suspensión, de esta manera todas las partículas emanan desde el mismo punto inicial, un ejemplo de esto se observa en la **Figura 4.10**.

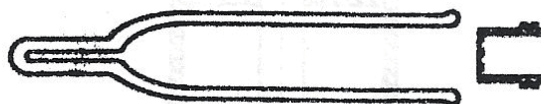
La técnica de línea de salida incremental, está restringida a fotocentrífugas y las atenuantes tienen que ser corregidas por el desglose en las leyes de la geometría óptica a menos que los datos sean usados únicamente para propósitos de comparación. Estas correcciones pueden ser considerables para partículas de amplio rango, por ejemplo una partícula de  $0.10 \mu\text{m}$  puede cortar menos que un décimo de la luz que uno debería esperar para este tamaño geométrico, mientras que una partícula de  $1 \mu\text{m}$  puede cortar más de lo que uno podría esperar (Richardson *et al.*, 2002 y Allen, 2003).



**Figura 4.10** Técnica de línea de salida

En la técnica de sedimentación centrífuga acumulativa la cantidad de sedimento depositado es determinado por su altura y, dado que el volumen establecido no depende del tamaño, algunos errores son introducidos en la medición.

La parte baja de las celdas de sedimentación tienen un declive en las paredes, por lo tanto algunas partículas son adheridas en esta sección y otras se deslizan hacia abajo por el declive de las paredes dentro de la zona de medición, así que las partículas más grandes frecuentemente se encuentran en un nivel donde sólo las partículas más pequeñas deberían estar presentes (Richardson *et al.*, 2002 y Allen, 2003), un ejemplo de este tipo de celdas se muestra en la **Figura 4.11**.



**Figura 4.11** Tubo especial de centrifuga MSA

#### 4.2.5 Determinación de tamaño de partículas por flujo de campo fraccionado

El flujo de campo fraccionado comprende un grupo de métodos clasificados en el cual las partículas con diferentes propiedades son extraídas para su clasificación en diferentes tiempos.

Los tiempos de elusión dependen de la fuerza de campo aplicada, la más común que se encuentra es la sedimentación. Mientras que la gravedad es la limitante para partículas tan grandes como un micrómetro, la fuerza de sedimentación es usualmente generada en una centrífuga. En el flujo de campo fraccionado un tapón estrecho de suspensión es introducido dentro de una corriente de flujo que transporta un líquido que barre la muestra por un plano largo semejante a un canal. Cuando la muestra alcanza el canal, el flujo es detenido momentáneamente, y un campo de fuerza es aplicado, bajo el cual las partículas grandes se acumulan dentro del disolvente, mientras que las partículas pequeñas del grueso, se difunden más en capas (Levine *et al.*, 1991; Richardson *et al.*, 2002 y Allen, 2003).

El grado de comprensión de las capas y su interacción con el campo de fuerza determina la migración diferencial y separación de las partículas. En la salida del canal, las partículas pasan a través de un detector que es usado para determinar la concentración relativa de las fracciones separadas. La determinación de la concentración es usualmente basa en escaneo de luz por las partículas que pasan a través de las celdas de flujo de un detector ultravioleta cromatográfico. La medición de la concentración contra el tiempo de elusión es convertido en una distribución de tamaños usando como instrumento un software.

El campo de fuerza puede ser gravitacional o sedimentado, centrífugo, térmico, eléctrico o magnético, pero no todos estos son comercializados (Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).

#### 4.2.5.1 Flujo de campo fraccionado sedimentado (SFFF)

Partículas grandes sedimentan a través de un líquido que se mueve en ángulos rectos en dirección del sedimento. La conversión estandarizada de los fractogramas es desarrollada por el análisis de una simple corrida. Todos los parámetros son obtenidos por las especificaciones de la muestra y una previa calibración del instrumento por modelos semiempíricos.

El flujo de campo fraccionado sedimentado puede medir partículas de oro por debajo de 15 nm. Las distribuciones de tamaños son determinadas desde el ensanchamiento del pico causado por la polidispersión de la muestra. Los ensanchamientos de los picos en el fractograma son debido a imperfecciones del instrumento el cual también es detectado (Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).

#### 4.2.5.2 Flujo de campo fraccionado centrífugo (CFFF)

Las partículas grandes se acumulan en delgadas y compactas capas en las paredes y las partículas pequeñas se difunden en capas. La interacción entre las líneas de corriente del fluido pasando a través del canal separa las partículas finas de las gruesas y las difunde en capas, extrayéndolas primero. El movimiento de la fase líquida es deliberado a una velocidad de flujo constante en la que una traza de muestra contiene las partículas a ser analizadas. La muestra es barrida desde esta traza hacia dentro del canal con la centrífuga. Siguiendo la separación en el canal, el flujo con la muestra es llevado a través de un sello con un detector (típicamente un



turbidímetro) que es utilizado para determinar la concentración relativa de las fracciones separadas. De esta manera el tiempo de retención puede ser relacionado con las propiedades de las partículas incluyendo el tamaño. La señal detectada en diferentes tiempos indica la cantidad relativa de partículas materiales teniendo un valor específico de las propiedades relevantes (Levine *et al.*, 1991; Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).

#### 4.2.5.3 Flujo de campo fraccionado térmico (TFFF)

En el flujo de campo fraccionado eléctrico un gradiente de temperatura es aplicado. La ventaja primaria potencial de ésta técnica es que puede ser usada para tamaños de partículas en un rango de 0.01  $\mu\text{m}$  a 0.001  $\mu\text{m}$ , un orden de magnitud más pequeño que el SFFF (Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).

#### 4.2.5.4 Flujo de campo fraccionado magnético (MFFF)

En el flujo de campo fraccionado magnético, la separación depende sobre como las partículas son fuertemente atacadas por el polo de un imán (Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).

La **Tabla 4.7**, muestra en términos generales algunas ventajas y desventajas en las diferentes técnicas que se utilizan para la separación de las partículas revisadas anteriormente, así como los intervalos de tamaños en las que aplican.

**Tabla 4.7** Ventajas, desventajas e intervalo de aplicación de las técnicas de separación de partículas.

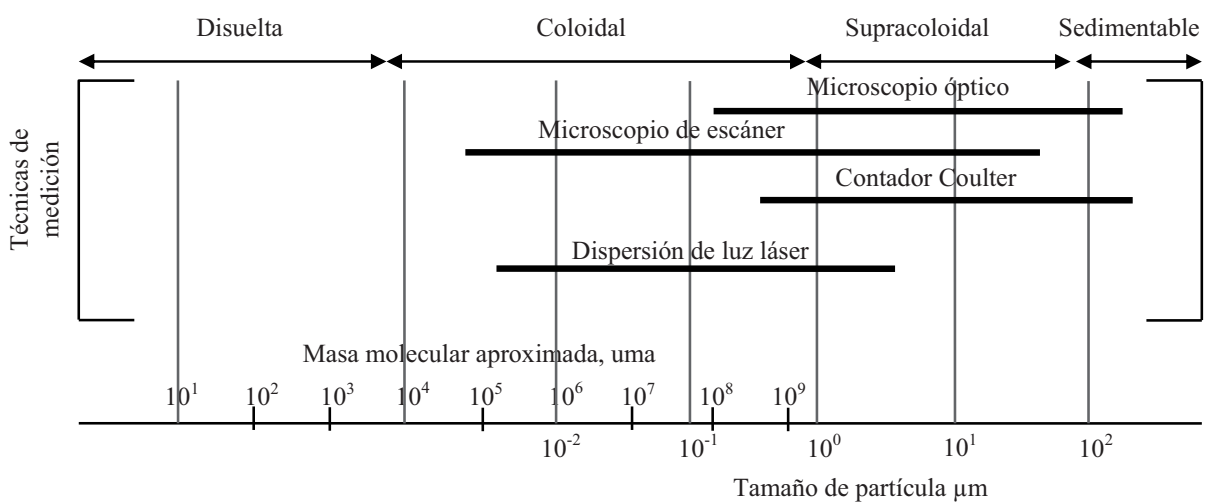
Técnica	Ventajas	Desventajas	Intervalos de aplicación
Tamizado	Método rápido de aplicación. Determinación rápida.	Pobre reproducibilidad	37 $\mu\text{m}$ – 2 mm
Filtración con mallas	Operación simple. No se requiere de equipos especiales.	Obstrucción de los poros a altas concentraciones de materia.	10 nm – 100 $\mu\text{m}$
Sedimentación gravitacional	Determinación rápida en equipos automatizados. Instrumentos de manejo simple.	Requiere de factores de esfericidad para un número de Reynolds bajo. Se puede alterar la distribución al tomar la muestra.	0.5 $\mu\text{m}$ – 150 $\mu\text{m}$

Técnica	Ventajas	Desventajas	Intervalos de aplicación
Sedimentación centrífuga	Disponibilidad de varios tipos de tubos dependiendo de la densidad de las partículas.	Número alto de muestras para obtener las distribuciones. Calibración constante del equipo para realizar los análisis.	50 nm – 150 $\mu\text{m}$
Flujo de campo fraccionado	No trabaja altas presiones por lo que el proceso es esencialmente no destructivo para las muestras.	Requiere que la muestra sea soluble o esté dispersa en la fase móvil.	0.1 $\mu\text{m}$ – 100 $\mu\text{m}$

### 4.3 TÉCNICAS DE MEDICIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS

Hoy en día existen técnicas de análisis disponibles para la determinación de los tamaños de partículas, las cuales, varían en complejidad, utilidad y precio. Los análisis de distribución de tamaño de partículas se basan en técnicas de medición-observación y técnicas de separación-análisis.

Las técnicas de medición y observación son de gran ayuda para una rápida valoración de tamaño de partícula, mientras que las técnicas de separación y análisis pueden ser empleadas para correlacionar el tamaño con otras características físicas y químicas (Levine *et al.*, 1991). Algunas de estas técnicas se presentan en la **Figura 4.12**.



**Figura 4.12** Tamaños y técnicas de medición en las aguas residuales (adaptada de Levine *et al.*, 1991)

### 4.3.1 Análisis de imagen

El microscopio es usado en ocasiones como un método absoluto de análisis de tamaño de partícula ya que este es el único método en el cual las partículas individuales son observadas y medidas. Esto no sólo es usado para medir el tamaño de partícula sino también para evaluar su forma y su textura, colectivamente llamado morfología, con mayor sensibilidad que otras técnicas. La introducción de analizadores automáticos de imagen permite la determinación de complejos factores de forma los cuales antes no se podían obtener (Levine *et al.*, 1991; Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).

#### 4.3.1.1 Microscopio óptico

Se emplea para proporcionar una visión directa de las partículas para su evaluación. El microscopio óptico es usado para la examinación de las partículas de 3  $\mu\text{m}$  a 150  $\mu\text{m}$  de tamaño, tiene serias limitaciones por su poca profundidad de foco, el cual tiene alrededor de 10  $\mu\text{m}$  con un aumento de 100x y alrededor de 5  $\mu\text{m}$  a 1000x. Esto quiere decir que para muestras que tienen un amplio rango de tamaños, sólo unas pocas partículas están en el foco del campo de visión. En los microscopios de transmisión óptica los bordes de las partículas están borrosos debido a efectos de difracción. Este no es un problema para partículas más grandes de 5  $\mu\text{m}$  que de esta manera pueden ser estudiados por refracción de luz la cual muestra su silueta (Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).

Entre los instrumentos comerciales se encuentran los mostrados en la **Tabla 4.8**, así como el intervalo de aplicación de cada uno de los equipos mencionados.

**Tabla 4.8** Microscopios automatizados y rango de análisis de tamaño.

Equipos	Rangos de tamaños
Beckman Coulter RapidVUE	20 $\mu\text{m}$ a 2500 $\mu\text{m}$
Micromeretrics Optisizer PSDA™ 5400	45 $\mu\text{m}$ en adelante.
Retsch Camsizer	30 $\mu\text{m}$ a 30 mm
Malvern Sysmex Analizador de imagen de flujo de partículas automatizado FPIA-2100	Alto campo (x20) cubre 0.7 $\mu\text{m}$ a 40 $\mu\text{m}$ Bajo campo (x5) cubre 4 $\mu\text{m}$ a 160 $\mu\text{m}$
forma de partículas y analizador de tamaños	
Sci-Tec PartAn – Video analizador de imagen	10 $\mu\text{m}$ a 6 pulgadas.

#### 4.3.1.2 Microscopio electrónico.

Cuando un sólido es bombardeado con electrones de energía alta, la interacción produce electrones secundarios (elásticos), electrones de baja dispersión (inelásticos), electrones de pérdida baja, electrones Auger, foto electrones, electrones de difracción, características de rayos X y luz. Esas interacciones son utilizadas para identificar el espécimen y los elementos del espécimen y también puede ser usado para caracterizar físicamente sistemas de partículas.

El microscopio de transmisión electrónica (TEM) es usado para partículas muy finas o finos especímenes de materiales cristalinos, es utilizado para la exanimación directa de partículas en un rango de 0.01  $\mu\text{m}$  a 5  $\mu\text{m}$  de tamaño. El TEM opera por inundación de la muestra por un campo de electrones, comúnmente a 100-120 keV, y genera una imagen en una pantalla fluorescente o una imagen fotográfica de la muestra. Opera en un rango de aumento de alrededor de 600x a 1000000x (Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).

En la microscopía de escaneo electrónico (SEM), un haz fino de electrones de energía media (5-50 keV) es producido para escanear a través de la muestra en una serie de pistas paralelas. Esos electrones interactúan con la muestra, produciendo emisiones electrónicas secundarias, baja dispersión electrónica, luz catodoluminiscente y rayos-X. Cada una de esas señales puede ser detectada y desplegada en la pantalla de un tubo de rayos catódicos como lo son las imágenes en un televisor. El análisis se hace generalmente en imágenes grabadas de la pantalla, y esas imágenes pueden ser procesadas en línea. El SEM es considerablemente rápido y da más detalles en tercera dimensión que el TEM. Algunos de estos instrumentos pueden tomar muestras tan grandes como 8 pulgadas cuadradas y partes vistas con un aumento que varía desde 20x a 100000x con una resolución de 5 nm a 7nm. La profundidad de su foco es cercana a 300 veces lo que es el microscopio óptico, lo que le permite dar información considerable acerca de la textura de la superficie de las partículas (Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).

Otros tipos de microscopio de escaneo electrónico son:

1. Microscopio de escaneo y transmisión electrónica (STEM).
2. Microscopio de escaneo de túneles de electrones (STM).
3. Microscopio de fuerza magnética (MFM).
4. Microscopio de fuerza lateral o de fuerza de fricción. (LFM).

La **Tabla 4.9** presenta algunos de los estándares básicos para una mayor comprensión de la determinación del tamaño de las partículas con la técnica de análisis de imagen, tanto de terminología como métodos y técnicas.

**Tabla 4.9** Estándares para la medición de tamaños con analizadores de imagen.

Estándar	Contenido
BS 3406	Parte 4 British Standard guía para microscopios ópticos.
ASTM E20	Descontinuado en 1994.
ASTM 175-82	Define terminología relacionada a aplicaciones de microscopio.
ASTM E766-98	Practico para calibrar el aumento de un SEM
NF X11-661	Estándar francés de microscopía óptica.
NF X11-696	Cubre técnicas generales de análisis de imagen.
ISO/CD 13322	Estándar internacional en métodos de análisis de imagen.

### 4.3.2 Método de escaneo de corriente.

Es conveniente dividir las técnicas de medición de tamaño de partículas que involucran la interacción entre éstas y un campo externo dentro de dos categorías, escaneo de corriente y campo de escaneo. De esta forma, las partículas son examinadas una en un tiempo y sus interacciones son tomadas como una medida de su tamaño. La interacción de un grupo de partículas es interpretada en términos de la distribución de tamaño de partículas de ese grupo (Levine, *et al.*, 1991; Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).

En éste estudio se utilizó la técnica de escaneo de corriente para determinar las distribuciones de tamaño de partículas, la cual emplea el principio de Coulter (**Figura 4.13 a**) donde el campo es eléctrico y el tamaño de partícula (volumen) es proporcional al cambio en la impedancia eléctrica cuando la partícula pasa a través del campo.

En la técnica de bloqueo de luz la partícula proyecta un área que puede ser medida por la cantidad de luz cortada cuando la partícula pasa a través de un haz de luz (**Figura 4.13 b**).

Durante el tiempo de permanencia, un pequeño diámetro de rotación o la duración del pulso en el haz de escaneo es una medida de longitud en una curva (**Figura 4.13 c**).

En la de tiempo de dispersión una luz de escaneo, con un detector de dispersión son usados para la determinación del tamaño de la curva (**Figura 4.13 g**).

La de ángulo de dispersión bajo puede ser utilizada con altas concentraciones de lodos cuando el haz no tiene que atravesar por la suspensión. Si la incidencia del haz es absorbida en la trampa de luz se dispersa en la dirección frontal (**Figura 4.13 d**) o en ángulos rectos con la técnica de ángulo recto de dispersión (**Figura 4.13 f**) dependiendo del tamaño. En la del ángulo sólido de dispersión la señal es mayor con la adición de un espejo elíptico (**Figura 4.13 e**).

Los interferómetros (**Figura 4.13 h**) determinan el tamaño de partículas a través de su paso por un haz de láser dividido, a través de uno pasa la partícula y a través del otro el líquido circundante.

Si las partículas son aceleradas a través de una boquilla, el tiempo que toman para pasar a través de los dos haces de láser es una medida de tamaño aerodinámico, (**Figura 4.13 i**).

En el método Doppler (**Figura 4.13 j**) el tamaño de la partícula es determinado desde un patrón de interferencia cuando una partícula pasa a través de la intersección de dos haz de laser (Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).

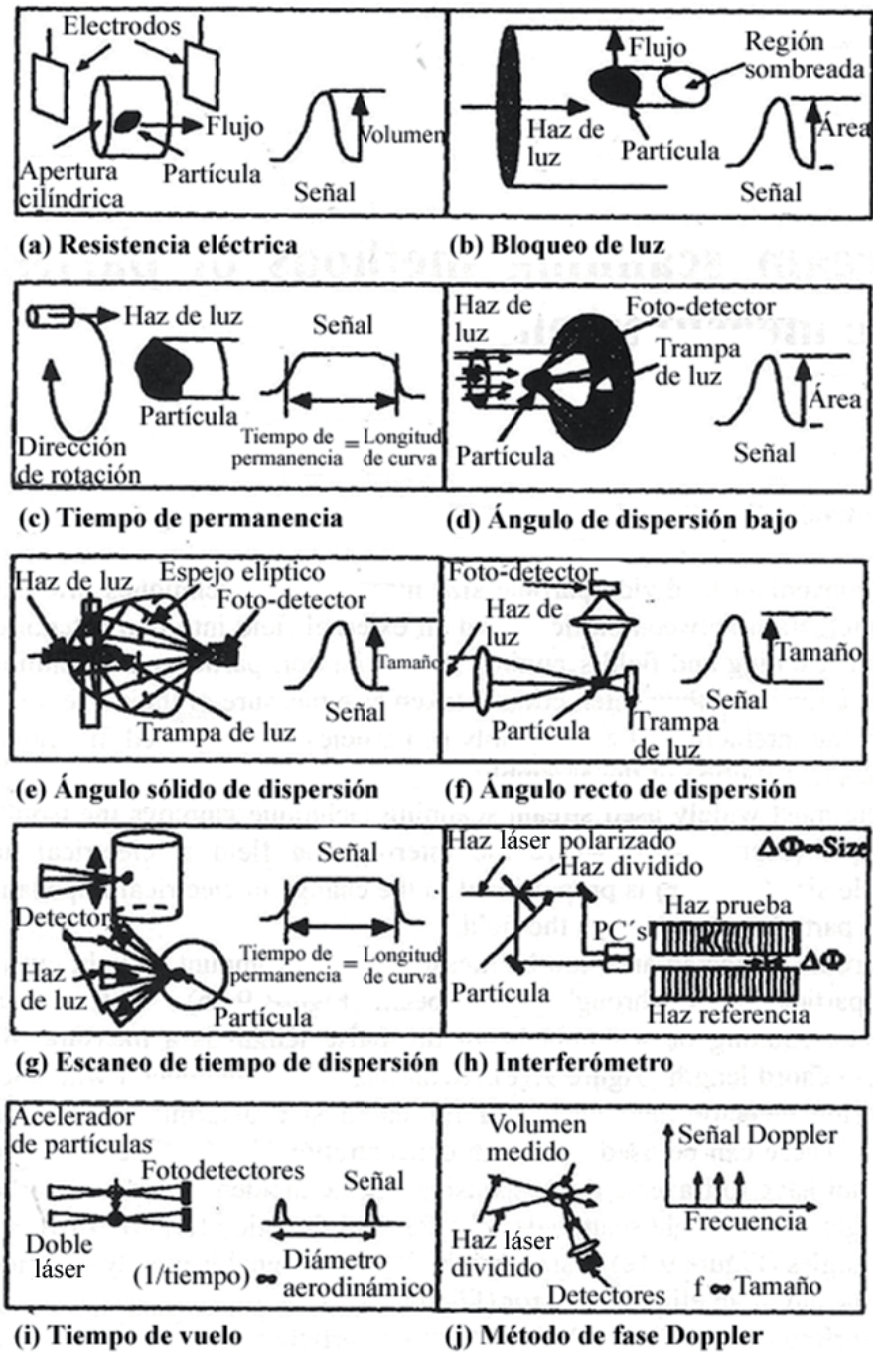


Figura 4.13 Principio de operación de las técnicas de medición y análisis

#### 4.3.2.1 Método de zona de escaneo eléctrico (Principio de Coulter).

La técnica Coulter es un método para determinar el número y la distribución de tamaño de partículas suspendidas en un electrolito causada por su paso a través de un pequeño orificio, al cual una corriente es aplicada entre electrodos en ambos lados. Los cambios en la impedancia

eléctrica cuando las partículas pasan a través del orificio generan pulsos cuyas amplitudes son proporcionales al volumen de las partículas. Los pulsos son alimentados a un analizador de altura de pulsos donde están en una escala y son contados, y a partir de datos derivados, el tamaño de distribución de la fase en suspensión es determinada (Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).

El principio de Coulter fue patentado en 1949 y descrito en 1956 como un método para contar y medir el tamaño de células sanguíneas. Años más tarde introdujeron modificaciones que permitieron el conteo de células bacterianas, y poco después el método pudo ser aplicado para la medición del volumen de las células tan bien como contar su número. Pronto se desarrollaron modificaciones al instrumento las cuales permitieron que partículas fueran medidas de la misma manera que contadas. En 1998 la compañía fue adquirida por Beckman y así fue renombrado como Beckman Coulter. De esta manera los análisis pudieron ser llevados a cabo rápidamente con una buena reproducibilidad, así el método ha llegado a ser muy popular en un amplio rango de industrias como la farmacéutica y la manufacturera (Manual de Operación).

#### 4.3.2.1.1 Principio de Operación.

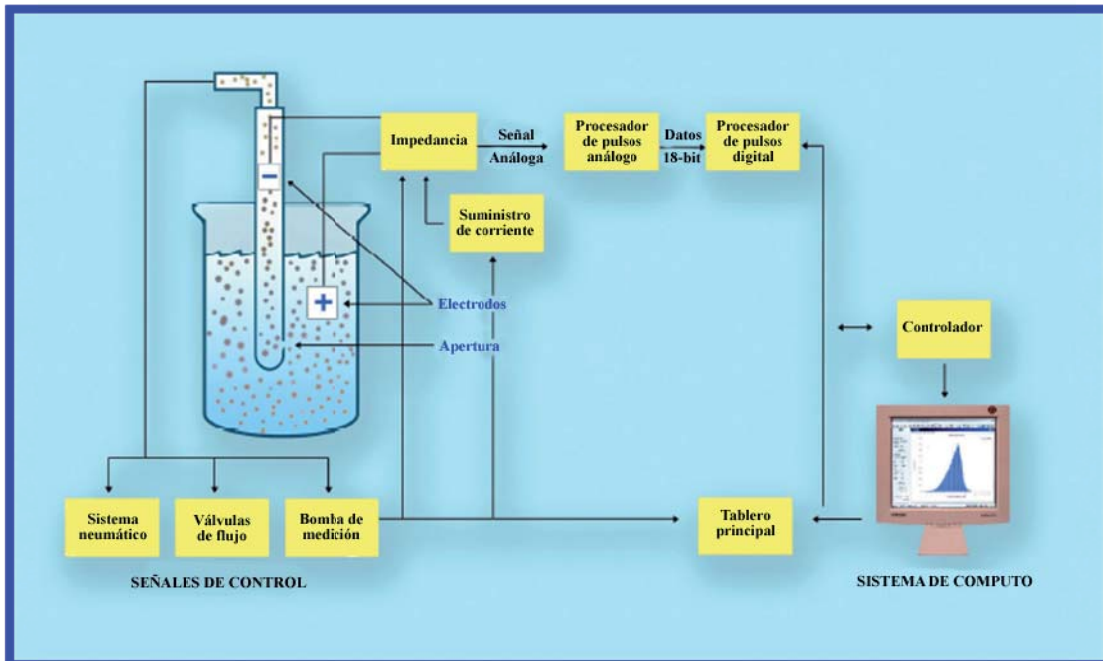
El principio de operación del instrumento puede ser seguido haciendo referencia a la **Figura 4.14**. La muestra a ser analizada es dispersa en un electrolito que es ubicada en un vaso. En el tubo de vidrio del tamaño de la muestra a analizar, hay dentro un electrodo de platino que también es inmerso en el electrolito.

Un vacío controlado inicia el flujo de la suspensión a través del orificio hacia adentro del tubo de vidrio separando los dos electrodos entre los cuales hay un flujo de corriente eléctrica. Aunque la magnitud de esa corriente puede ser pequeña (alrededor de 1 mA), la resistencia creada por la restricción de los electrodos separados produce una considerable densidad de corriente dentro de la apertura.

Como cada partícula pasa a través de la apertura cilíndrica (o “zona de detección”) este desplazamiento del propio volumen del líquido, momentáneamente incrementa la impedancia de la apertura.

Estos cambios en la impedancia producen un diminuto pero proporcional flujo de corriente hacia un amplificador que convierte las fluctuaciones de corriente en pulsos de voltaje lo suficientemente largos como para medir con precisión. La amplitud de tal pulso es directamente proporcional al volumen de la partícula. Dando una escala a esos pulsos altos en unidades de volumen permite realizar y desplegar un espectro de tamaños.

Si el aparato de medición es utilizado para graficar y saber el volumen de la suspensión que pasa a través de la apertura, el conteo del número de pulsos producirá la concentración de partículas por unidad de volumen en suspensión (Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).



**Figura 4.14** Diagrama del principio de Coulter aplicado en el Multisizer 3™

El análisis de tamaño de partícula puede ser desempeñado en un amplio rango de tamaños desde 0.4 hasta 1200  $\mu\text{m}$ . Para lograr esto, un número diferente de sensores (tubos de apertura) es requerido. Los rangos de operación de cada sensor son de alrededor del 2% al 60% del diámetro de la apertura, así que para un tubo de apertura de 100  $\mu\text{m}$  el rango es de 2 a 60  $\mu\text{m}$ . Las partículas pequeñas generan pulsos que se pierden en el ruido electrónico generado con la apertura y el circuito electrónico.

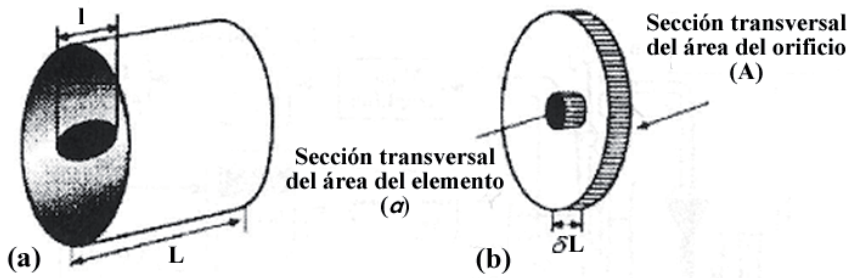
Las partículas grandes dan cada vez más respuestas no lineales y tienden a bloquear la apertura si son mayores que alrededor de la mitad del diámetro de la apertura. Para partículas con un amplio rango, una extrapolación o la técnica de dos tubos pueden ser necesarias.

#### 4.3.2.1.2 Teoría del método de la zona de detección eléctrica.

La suposición básica del principio de Coulter es que el voltaje del pulso generado cuando las partículas pasan a través de la apertura es directamente proporcional al volumen de la partícula.

La relación entre el tamaño de partícula y la respuesta del instrumento puede ser determinada utilizando una teoría simplificada. La **Figura 4.15 a** muestra una partícula pasando a través de la apertura y la **Figura 4.15 b** muestra el elemento de la partícula y la apertura.





**Figura 4.15** Paso de una partícula a través del orificio de un tubo Coulter Counter

La resistencia de un elemento sin una partícula  $\delta R_0$ , es:

$$\delta R_0 = \frac{\rho_f \delta L}{a}$$

La resistencia de un elemento con una partícula incluida,  $\delta R$ , consta de dos resistores  $\delta R_1$ ,  $\delta R_2$ , en paralelo

$$\frac{1}{\delta R} = \frac{1}{\delta R_1} + \frac{1}{\delta R_2}$$

Así que:

$$\delta R = \left( \frac{A - a}{\rho_f \delta L} + \frac{a}{\rho_s \delta L} \right)^{-1}$$

$\rho_f, \rho_s$  son las resistividades del fluido y la partícula respectivamente,  $A$  es el área transversal del orificio,  $a$  es el área transversal de la partícula y  $V$  es el volumen de la partícula.

Por lo tanto el cambio en la resistencia del elemento,  $\delta(\Delta R)$ , debido a la presencia de la partícula es dado por:

$$\delta(\Delta R) = \delta R_0 - \Delta R$$

$$\delta(\Delta R) = -\frac{\rho_f a \delta L}{A^2} \left( 1 - \frac{\rho_f}{\rho_s} \right) \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\rho_f}{\rho_s} \right) \frac{a}{A} \right]^{-1}$$

La resistencia externa del circuito es suficientemente alta para garantizar que un cambio pequeño,  $\Delta R$ , en la resistencia de la apertura debido a la presencia de la partícula que no afectará la corriente  $I$ ; el pulso de voltaje generado es por lo tanto  $I \Delta R$  (Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).

Entre los equipos comerciales se encuentran los presentados en la **Tabla 4.10**, así como el intervalo de tamaños que son capaces de medir.

**Tabla 4.10** Equipos de análisis que utilizan el método de escaneo de corriente

Equipos	Rangos de tamaños
Beckman Coulter Z1	1 $\mu\text{m}$ a 120 $\mu\text{m}$ .
Beckman Coulter Z2	1 $\mu\text{m}$ a 120 $\mu\text{m}$ .
Beckman Coulter Multisizer 3	0.4 $\mu\text{m}$ a 1200 $\mu\text{m}$ .
Malvern Sysmex SD-2000	1 $\mu\text{m}$ a 120 $\mu\text{m}$ .
Malvern Sysmex CDA 500	1 $\mu\text{m}$ a 60 $\mu\text{m}$ .
Micromeretics Elzone 5370	12 $\mu\text{m}$ a 1900 $\mu\text{m}$ .
Micromeretics Elzone 5380	12 $\mu\text{m}$ a 1900 $\mu\text{m}$ .
Micromeretics Elzone 5382	10 $\mu\text{m}$ a 1900 $\mu\text{m}$ .

#### 4.3.2.2 Contadores ópticos de partículas.

Los contadores de partículas ópticos, de campo de escaneo, tienen uno sus principales usos en la determinación de los niveles de contaminantes en aerosoles.

El tamaño de las partículas puede ser determinado por alguna de las siguientes formas:

- Por la cantidad de luz que corta una partícula cuando esta pasa a través de la zona sensitiva en un haz de luz.
- Por la colecta y medición cuando la luz se posiciona sobre un ángulo del sólido en dirección frontal.
- Por la colecta y medición cuando la luz se posiciona sobre un ángulo del sólido en un ángulo para la incidencia del haz (usualmente un ángulo recto).
- Por la medición del cambio de fase cuando una partícula pasa a través de un haz de luz cruzado.
- Por la medición del “tiempo de vuelo” entre dos haz de laser.

Los contadores ópticos son utilizables para rangos simples hasta rangos muy sofisticados, con diferencias considerables en su diseño para obtener un amplio rango de aplicación. La respuesta de estos instrumentos depende del tamaño de la partícula, su forma, su orientación, amplitud de la luz, caudal del líquido y el índice refractivo relativo entre la partícula y sus alrededores. La cantidad de luz colectada es determinada por la geometría del sistema de colecta. La eficiencia de su foto-detector es lo que determina el grado en el cual los pulsos de luz pueden ser convertidos a señales electrónicas que a su vez puedan ser detectadas (Levine, *et al.*, 1991; Rhodes, 1998; Allen, 2003; Masuda *et al.*, 2006 y Drewes, 2007).

Como se observa en la **Tabla 4.11**, actualmente existe una gran cantidad de equipos que utilizan esta técnica de medición, el intervalo de tamaños que son capaces de medir es amplio y algunos de estos equipos son también muy específicos en su aplicación.

**Tabla 4.11** Contadores ópticos y rangos de medición.

Principio	Equipo	Rango de tamaños
Bloqueo de luz.	Kratel Partascope.	1 $\mu\text{m}$ a 8000 $\mu\text{m}$ .
	Hiac 215W on line particle counter.	2 $\mu\text{m}$ a 400 $\mu\text{m}$ .
	Hiac PC4000 portable liquid particle counter.	70 $\mu\text{m}$
	Partikel Messetechnik PMT-2120	1 $\mu\text{m}$ a 2000 $\mu\text{m}$ .
Disdrómetro óptico.		10 $\mu\text{m}$ a 10 mm.
Dispersión de luz.	Aerometrics Eclipse.	2 $\mu\text{m}$ a 2500 $\mu\text{m}$ .
	Canty Vision.	Limite bajo de 1 $\mu\text{m}$ .
	Climet CI 220 Liquid Particle Analyser.	2 $\mu\text{m}$ a 200 $\mu\text{m}$ .
	Climet CI 221 On-Line Monitor.	2 $\mu\text{m}$ a 200 $\mu\text{m}$ .
	Climet CI 1000.	1 $\mu\text{m}$ a 1000 $\mu\text{m}$
	Contamination Control Systems AWK analyser.	20 $\mu\text{m}$ a 10 mm.
	Danfoss VisionSensorQueCheck.	40 $\mu\text{m}$ a varios mm.
	Faley Status 8000.	1 $\mu\text{m}$ a 150 $\mu\text{m}$ .
	Flowvision Analyser.	2 $\mu\text{m}$ a 1000 $\mu\text{m}$ .
	Kowa Nanolyser <sup>TM</sup> PC-500.	0.1 $\mu\text{m}$ a 0.5 $\mu\text{m}$ .
	Kowa Nanolyser <sup>TM</sup> PC-30.	0.08 $\mu\text{m}$ a 0.2 $\mu\text{m}$ .
	Kratel Partograph.	0.5 $\mu\text{m}$ a 200 $\mu\text{m}$ .
	Malvern Autocounters.	2 $\mu\text{m}$ a 250 $\mu\text{m}$ .
	Malvern ALPS 100 System Liquid Particle Counter.	2 $\mu\text{m}$ a 150 $\mu\text{m}$ .
	Malvern Autocounter 300A Air Particle Counter.	0.3 $\mu\text{m}$ a 5 $\mu\text{m}$ .
	Malvern Insitec PCSV-P	0.2 $\mu\text{m}$ a 200 $\mu\text{m}$ .
	Hiac BR-8 liquid particle counting system.	0.5 $\mu\text{m}$ a 400 $\mu\text{m}$ .
	Hiac ChemQual <sup>TM</sup> on line sampler.	0.1 $\mu\text{m}$ a 0.5 $\mu\text{m}$ .
	Hiac/Royco.	0.25 $\mu\text{m}$ a 9000 $\mu\text{m}$ .
	Hiac/Royco Optisizer HPS-200	0.2 $\mu\text{m}$ a 200 $\mu\text{m}$ .
	Hiac/Royco Optisizer HPS-350	0.7 $\mu\text{m}$ a 350 $\mu\text{m}$ .
	Hiac/Royco Dynacount HRLD-150	1 $\mu\text{m}$ a 150 $\mu\text{m}$ .
	Hiac/Royco Dynacount HRLD-400	2 $\mu\text{m}$ a 40 $\mu\text{m}$ .
	Hiac/Royco Model 5100 series	0.25 $\mu\text{m}$ a 10 $\mu\text{m}$ .
	Pacific Scientific Met One 210 Liquid Particle Counter.	0.4 $\mu\text{m}$ a 25 $\mu\text{m}$ .
	Pacific Scientific Met One 2500 Batch sampling system.	0.5 $\mu\text{m}$ a 400 $\mu\text{m}$ .
	Spectrex PC 2000 Laser particle counter	0.5 $\mu\text{m}$ a 100 $\mu\text{m}$ .
Tiempo de permanencia.	Messetechnik Optical Reflectance Method (ORM).	0.1 $\mu\text{m}$ a 125 $\mu\text{m}$ .
	Lasentec Labtec 1000	0.7 $\mu\text{m}$ a 250 $\mu\text{m}$ .
	Lasentec Partec 200	1.9 $\mu\text{m}$ a 1000 $\mu\text{m}$ .

Principio	Equipo	Rango de tamaños
	Binkman 201 analyser Procedyne PA-110	0.7 $\mu\text{m}$ a 1200 $\mu\text{m}$ . 3 $\mu\text{m}$ a 2000 $\mu\text{m}$ .
Tiempo de vuelo Aerodinámico	(TSI) Model 3603 aerosol time-of-flight mass spectrometer ATOFM. TSI Model 3800 Time-of-flight Mass Spectrometerwas. TSI Aerodynamic Particle Sizer APS 33B. TSI Aerodynamical particle size spectrometer model 3321.	0.2 $\mu\text{m}$ a 700 $\mu\text{m}$ . 0.3 $\mu\text{m}$ a 3 $\mu\text{m}$ . 0.5 $\mu\text{m}$ a 30 $\mu\text{m}$ . 0.5 $\mu\text{m}$ a 20 $\mu\text{m}$ .

#### 4.3.2.2.1 Laser Doppler.

El método de la fase Doppler está basado en el principio de dispersión de luz. La medición es hecha en pequeñas detecciones ópticas definidas por la intersección de dos haces de laser. Cuando la partícula pasa a través del detector de volumen la luz se dispersa desde los haces de laser y crea una interferencia en el patrón de la franja. Un lente receptor localizado en un eje de distinto ángulo proyecta una porción del patrón de la franja hacia varios detectores. Cada detector produce una ráfaga de señal Doppler con una frecuencia proporcional a la velocidad de la partícula. La fase media entre la ráfaga Doppler de diferentes detectores es proporcional al tamaño de la partícula. El sistema mide muestras de volumen simultáneamente con el tamaño de partículas; esto permite una determinación exacta de la concentración del número de partículas y el volumen del flujo. La velocidad de la partícula y su tamaño dependen únicamente de la amplitud del laser y de su configuración óptica (Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).

Algunos de los equipos de medición de tamaño de partículas por éste principio se presentan en la **Tabla 4.12**, tienen un intervalo de trabajo amplio y llegan a medir partículas hasta de 10 mm.

**Tabla 4.12** Contadores Doppler y rangos de medición.

Equipo	Rango de tamaños
TSI Aerometrics phase Doppler particle analyser PDPA 2D System.	0.5 $\mu\text{m}$ a 10000 $\mu\text{m}$ .
Dantec Particle Dynamic Analyzer	0.5 $\mu\text{m}$ a 10000 $\mu\text{m}$ .
Electrical Single Particle Aerodynamic Relaxation Time (E-SPART) Analyser.	0.3 $\mu\text{m}$ a 75 $\mu\text{m}$ .

#### 4.3.3 Otros métodos.

En la actualidad, se encuentran otros equipos para la determinación del tamaño de partículas. Cada uno de ellos trabaja con variaciones o combinaciones de los métodos antes señalados, por lo que son pocos los equipos para estos tipos de análisis que se encuentran. Cada uno de

ellos está diseñado para satisfacer necesidades específicas y su funcionamiento o principio de operación se menciona a continuación.

#### 4.3.3.1 Interferómetros.

Los interferómetros utilizan dos haces de laser y los combinan para crear una señal cuya intensidad depende de la diferencia del paso de la partícula entre ellos. Cuando la partícula con un índice de refracción mayor que el líquido circundante pasa a través del haz frente a la onda es retardada y cuando una microburbuja de gas pasa a través del haz frente a la onda esta avanza. La magnitud de la señal de la fase depende del tamaño de la partícula y el pulso puede ser calibrado con partículas de tamaño conocido (Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).

**Tabla 4.13** Interferómetro y rango de medición.

Equipo	Rango de tamaños
The TSI Liquitrak™ interferometer	1 $\mu\text{m}$ a 100 $\mu\text{m}$ .

#### 4.3.3.2 Ultramicroscopio de flujo.

Las dispersión de partículas es inyectada dentro de una corriente de líquido donde son centradas hidrodinámicamente y así pasan a través del haz laser. La dispersión es detectada por una foto multiplicadora y es procesada electrónicamente como una serie de impulsos altos. El detector puede hacer ángulos rectos para incidir con el haz, el cual con un ángulo amplio o estrecho, o un ángulo de dispersión frontal puede ser usado. De esta manera la intensidad de la dispersión de luz es altamente dependiente del tamaño de la partícula, el rango dinámico de la fotomultiplicadora puede ser excedido por muestras de una relativa baja dispersión. Este tipo de instrumentos miden el numero de concentración y el tamaño de distribución para esferas y partículas de formas simples en un rango de 0.1  $\mu\text{m}$  a 5  $\mu\text{m}$  (Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).

**Tabla 4.14** Ultramicroscopio de flujo y rango de medición.

Equipo	Rango de tamaños
ISPA 800	5 $\mu\text{m}$ a 10 mm.

#### 4.3.3.3 Distribución de tamaño de gotas de dispersión.

La técnica es adecuada sólo para sistemas con bajas concentraciones. El procedimiento requiere muchas imágenes y largos tiempos de análisis. La imagen es directa del análisis de los datos lo cual limita su éxito. Este método es usado para la determinación del área interfacial, diámetro medio del volumen superficial si la concentración de las gotas es conocida pero no puede ser utilizado para la determinación del tamaño de partículas. Su dispersión de luz es utilizada para la medición de gotas de pequeños tamaños desde 10  $\mu\text{m}$  de diámetro hasta 800  $\mu\text{m}$  (Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).

#### 4.3.3.4 Analizador electrolítico de tamaño de granulo.

Está provisto de una rápida y absoluta medición de la carga requerida para que electrolíticamente reduzca/oxide cristales de compuestos de plata (AgX). Esta descomposición electrolítica es singularmente efectiva como base para medición fotográfica de la distribución de tamaño de partículas de granos en emulsiones ya que la carga está directamente relacionada al volumen del granulo. Los granos son electrolíticamente reducidos cuando son rotados bajo un electrodo de medición y generan pulsos cortos de acuerdo a su tamaño integral y son distribuidos logarítmicamente en 256 canales. El rango de tamaños que cubre es de 0.05  $\mu\text{m}$  a 2  $\mu\text{m}$  (Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).

#### 4.3.3.5 Derivación de velocidad de luz de presión.

La moción Browniana de partículas individuales es observada usando el foco de un microscopio de rastreo. Las partículas son atrapadas fuertemente en el centro de un haz laser. Por la evaluación de luz-presión-derivación-velocidad y la baja dispersión de la intensidad de luz determina el tamaño de partículas. Este método ha sido utilizado desde 300 nm para diversas clases de mezclas de poliestireno (Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).

#### 4.3.3.6 Monitoreo de tamaño de impacto.

CSIRO ha desarrollado una técnica patentada para medir el tamaño de partículas desde la medición del pico de compresión de un transductor ultrasónico sujeto al impacto por las partículas. Cada partícula produce un pulso independiente, la duración y la amplitud expresan la información acerca del tamaño de la partícula y la velocidad. El tiempo de impacto de partículas submilimétricas es típicamente menor que un microsegundo; ésta duración corta permite la medición de diez o miles de impactos por segundo. Este instrumento ha sido probado desde 50  $\mu\text{m}$  a 165  $\mu\text{m}$  en tamaños y es posible diferenciar partículas de tamaños de 157  $\mu\text{m}$  y 165  $\mu\text{m}$  (Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).

#### 4.3.3.7 Monitoreo acústico de partículas Monitek.

Utiliza un haz acústico centrado para medir discontinuidades en un fluido líquido y puede detectar el tamaño y la cantidad de sólidos suspendidos, entrada de gases, materiales fibrosos en algunos líquidos o gotas de aceites en el agua. El sensor es montado en línea sin restringir el flujo de proceso y el haz acústico es centrado a un punto muy cercano frente de la punta del sensor. Un cristal piezoeléctrico que actúa tanto como transmisor así como receptor genera una frecuencia alta. El transmisor emite cientos de pulsos por segundo y monitorea los ecos; esta alta velocidad de muestreo hace al instrumento insensitivo al flujo del líquido. La amplitud del eco es de tamaño sensitivo así que el límite bajo de tamaño del umbral debe de ser ajustado; este rango límite puede ser desde 0.2  $\mu\text{m}$  a unos cuantos milímetros (Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).

#### 4.3.3.8 Contador acústico Erdco.

Sonidos audibles pueden ser producidos por partículas que viajan a alta velocidad en un flujo laminar dentro de un tubo de baja velocidad. La zona de detección de los contadores Erdco es un capilar de un tubo de vidrio a la salida. Cuando las partículas entran en esta sección interactúan con la capa límite, resultando en un vórtice toroidal que mueve una onda de choque que se refleja en el capilar. La presión de la onda es detectada por un transductor en la salida del capilar, de esta manera el desplazamiento es medido por un sondeo óptico. El desplazamiento es proporcional al tamaño de la partícula, el cual es medible hasta bajo los 4  $\mu\text{m}$  (Rhodes, 1998; Allen, 2003 y Masuda *et al.*, 2006).

La **Tabla 4.15** contiene algunos de los estándares básicos para una mayor comprensión de la determinación del tamaño de las partículas con la técnica de corriente eléctrica y campo de escaneo, tanto de métodos y procedimientos así como comparaciones entre contadores de partículas.

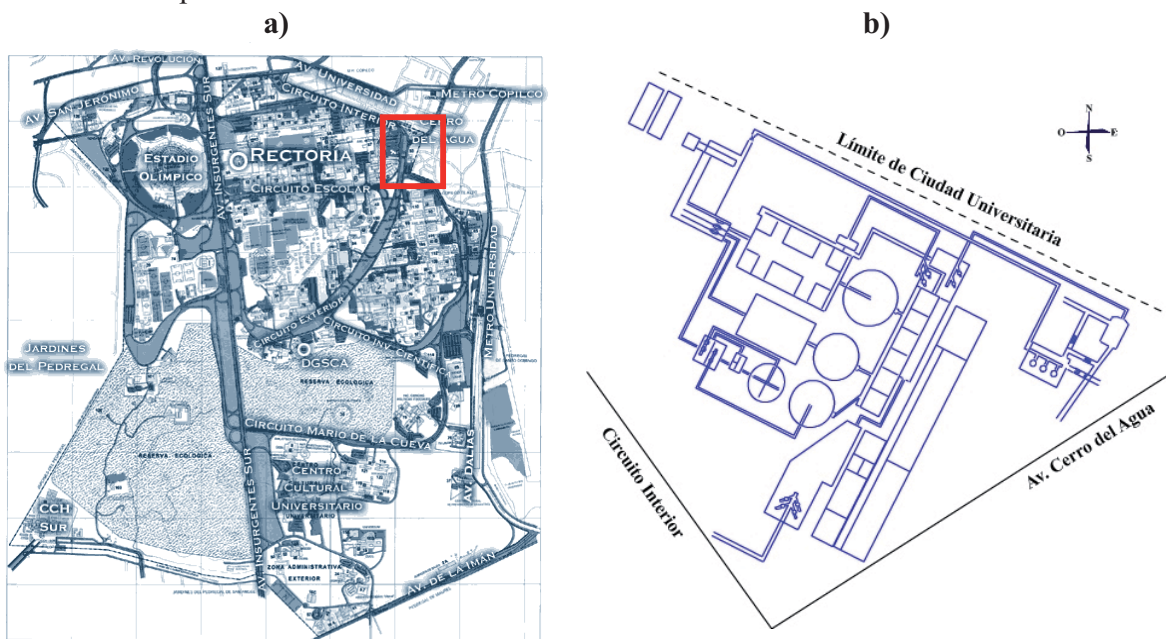
**Tabla 4.15** Estándares básicos para la determinación de tamaños con el método de escaneo de corriente

Estándar	Contenido
ASTM C-21	Métodos de repetitividad y reproducibilidad con niveles de confianza altos.
ASTM F751-83	Mediciones de un rango amplio utilizando tóner seco.
ASTM 577-83	Mediciones de tóner secos.
ASTM C-690-86	Distribuciones de aluminio y cuarzo.
ASTM E 1772-95	Distribución en un medio cromatográfico.
ASTM F-662-86	Evaluación de muestras de filtros.
ASTM F-660-83	Comparaciones usando contadores de partículas alternativos.
BS3405	Procedimientos operacionales.
ISO 13319	450 Método de la zona eléctrica de detección.

## 5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### 5.1 SITIO DE MUESTREO DEL AGUA RESIDUAL CRUDA Y TRATADA

El muestreo de las aguas residuales y tratadas se realizó en la planta de tratamiento de aguas residuales que se localiza en la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria (PTAR CU), la cual se muestra en la **Figura 5.1 a)**. Un acceso a ella es por Copilco, específicamente por la calle Cerro del Agua, en la **Figura 5.1 b)** se muestra la ubicación de la planta.



**Figura 5.1** Ubicación de la PTAR CU

#### 5.1.1 Descripción de los procesos biológicos

##### a) Pretratamiento.

En la llegada, el agua residual pasa por un tanque de regulación de tormentas, que regula el gasto de entrada y la homogeniza. El agua residual es transportada hacia tres rejillas construidas con varillas paralelas de acero, con un espaciamiento de aproximadamente 1.5 cm y de limpieza manual. En esta etapa son separados los materiales sólidos tales como cáscaras de fruta, trozos de papel, pedazos de madera y demás materiales que llegan al sistema de alcantarillado. En el desarenador, se atrapan sólidos (que tienen densidad considerablemente mayor a la del agua) y se separa arena con contenido orgánico. El tiempo de retención es de alrededor de 1 minuto. El desazolve del desarenador se realiza manualmente con palas y se interrumpe el flujo de entrada apagando las bombas. Se cuentan con vertedores de demasías y



el flujo se desvía hacia el drenaje de la Ciudad. La arena extraída que lleva semillas y materia orgánica adherida es depositada en el camellón del Circuito Universitario.

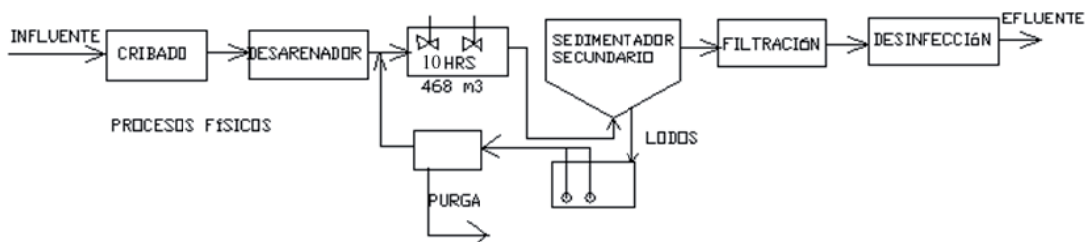
b) Tratamiento secundario.

Después de pasar por el pretratamiento el gasto total se divide en tres gastos menores e independientes para alimentar los tres tipos de procesos biológicos que pertenecen al tratamiento secundario.

1. Lodos activados.

El tratamiento con lodos activados tiene una capacidad de 10 L/s, el influente se conduce hacia un tanque de aireación en el cual se suministra oxígeno a través de un sistema de aireadores sumergidos. Por el otro extremo del tanque sale la corriente de agua que arrastra los lodos activados, los cuales son removidos en el sedimentador secundario y posteriormente se recirculan al proceso de aireación, según se requiera (**Figura 5.2**). El contenido de lodo purgado que es descargado al drenaje es de 2.5 g/L.

En lo que concierne a las condiciones actuales de operación del sistema de lodos activados, el tiempo de retención hidráulico es de 10.3 h y el tiempo de retención celular es de 9.1 días (García, 2007).

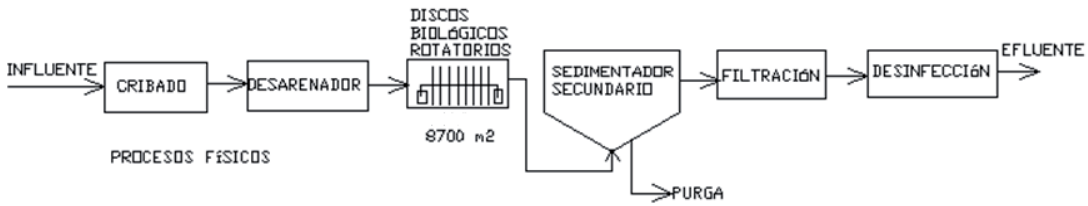


**Figura 5.2** Esquema del tratamiento con lodos activados

2. Disco biológicos.

Tiene una capacidad de 6 L/s en un área total de 8752 m<sup>2</sup>. Consiste en una serie de discos rotatorios de material plástico que giran a 1.6 rev/min parcialmente sumergidos en un tanque al que llega el agua residual. Los microorganismos que efectúan la biodegradación se encuentran adheridos a la superficie (electrostaticamente). Se divide en tres secciones para hacer más eficiente el tratamiento. Los discos se encuentran girando, de tal forma que los microorganismos se ponen en contacto con la materia orgánica y se favorece la oxigenación. El exceso de lodos se desprende de los discos y se incorpora al flujo de agua, éste se separa en el sedimentador secundario (**Figura 5.3**).

Actualmente se opera con una carga orgánica de 17.8 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>d y con una carga hidráulica de 0.06 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d (García, 2007).

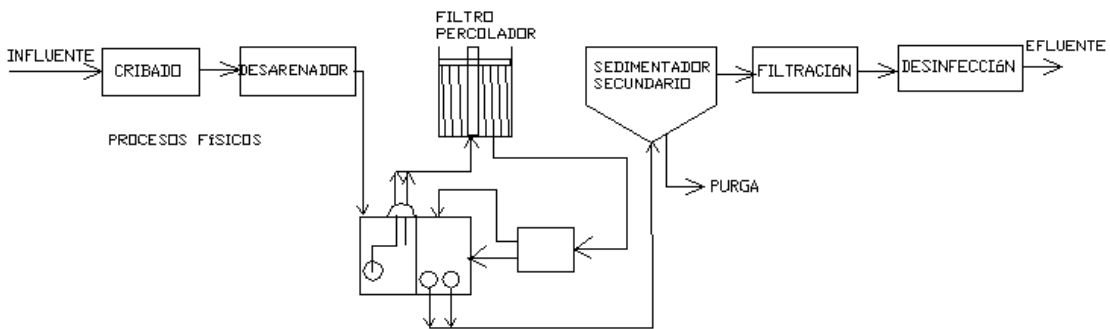


**Figura 5.3** Esquema del tratamiento con discos biológicos

### 3. Filtro rociador.

Tiene una capacidad de 5.8 L/s, en el sistema el agua escurre por gravedad a través del biofiltro, el cual se encuentra empacado con un material plástico y sobre la superficie de éste se encuentran adheridos los microorganismos. Cuando ésta llega a la parte inferior, los microorganismos ya degradaron la materia orgánica. El agua sale de la torre donde una parte se recircula y la otra parte alimenta al sedimentador secundario (**Figura 5.4**).

Actualmente se opera con una carga orgánica de 4.03 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>d, una carga hidráulica de 104.7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d y con una tasa de recirculación del 50% (García, 2007).



**Figura 5.4** Esquema del tratamiento con el filtro rociador

Cada proceso cuenta con un sedimentador secundario cuyo propósito es eliminar los sólidos sedimentables y materias flotantes.

### c) Tratamiento terciario.

A la salida de los sedimentadores, el agua continua su paso hacia el tratamiento terciario que consiste en seis filtros rápidos de arena, los efluentes secundarios se mezclan y la filtración se realiza en dos cámaras que trabajan con el principio de vasos comunicantes. Los filtros eliminan los sólidos en suspensión residuales de los efluentes del tratamiento secundario biológico y el agua filtrada se envía directamente al cárcamo de agua filtrada. La última etapa es la desinfección, en esta etapa se inactivan los microorganismos patógenos agregándole a las aguas tratadas como agente desinfectante cloro gas (Cl<sub>2</sub>). La dosis promedio de cloro varía entre 6 y 8 mg/L.

Una vez tratada el agua residual es conducida mediante tubería a doce cisternas de almacenamiento dentro del campus universitario donde luego se utilizará para el riego de áreas verdes.

## 5.2 TOMA Y CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS

Las muestras para el estudio fueron tomadas durante la época de estiaje, todos los lunes a las 10:00 a.m. tanto para el influente como para los efluentes de los tratamientos biológicos (lodos activados, discos biológicos y filtro rociador), así como el efluente del tratamiento terciario. La secuencia para los muestreos en la PTAR CU fue la siguiente:

- a. Influyente. Se realizó al finalizar la etapa del pretratamiento, después de las rejillas para sólidos grandes y antes del desarenador.
- b. Efluentes secundarios (efluente de los procesos con lodos activados, discos biológicos y filtro rociador). La toma de cada una de las muestra se realizó en el efluente de los sedimentadores secundarios. Como se mencionó previamente cada sistema tiene su etapa de sedimentación de manera independiente.
- c. Efluente filtrado (efluente terciario). Se realizó al final del sistema, es el efluente que se reutiliza para riego de las áreas verdes.

Las muestras fueron colectadas en envases de polietileno de color de 1 L de capacidad con tapa hermética. El muestreo del influente y los efluentes se realizó de acuerdo a la metodología establecida en la NMX-AA-003-1980 de muestreo de aguas residuales. La **Tabla 5.1** presenta los métodos de determinación y preservación señalados en los procedimientos de acuerdo al parámetro que se requirió medir. Los parámetros fueron determinados dentro de los tiempos requeridos por cada método y en un tiempo no mayor de 5 días.

**Tabla 5.1** Preservadores considerados por los métodos de determinación de parámetros físicos y químicos.

Parámetro	Método	Preservación	Tiempo máximo para procesar las muestra
pH	Método 4500-H <sup>+</sup> B. APHA, AWWA, WEF, 2005.	Análisis en campo	Inmediato
Conductividad	Método 2510 B. APHA, AWWA, WEF, 2005.	Análisis en campo	Inmediato
Temperatura	Método 2550 B. APHA, AWWA, WEF, 2005.	Análisis en campo	Inmediato
Conteo de Partículas y Distribución de Tamaño	Método 2560 B. APHA, AWWA, WEF, 2005.	Hielo	Inmediato

Parámetro	Método	Preservación	Tiempo máximo para procesar las muestra
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Métodos 4500-O C y 5210 B, APHA, AWWA, WEF, 2005.	Hielo	24 h
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Método 5220 D. APHA, AWWA, WEF, 2005.	pH menor a 2. Ácido sulfúrico	28 días
Nitrógeno amoniacal (NH <sub>3</sub> -N)	HACH 8038 Método Nessler. Adaptado: Método 4500-NH <sub>3</sub> B y C. APHA, AWWA, WEF, 2005.	pH menor a 2. Ácido sulfúrico	48 días
Ortofosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	HACH 8114 Método de molibdovanadato. Adaptado: Método 4500-P C. APHA, AWWA, WEF, 2005.	Hielo	28 días
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Método 2540 D. APHA, AWWA, WEF, 2005.	Hielo	7días
Turbiedad	Método 2130 B. APHA, AWWA, WEF, 2005.	Hielo	24 h
Color aparente	Adaptado Método 2120 C y D. APHA, AWWA, WEF, 2005.	Hielo	48 h

Todas las muestras se transportaron en hieleras (a 4°C) a las instalaciones del Instituto de Ingeniería en Ciudad Universitaria a 500m del sitio de muestreo para su análisis.

## 5.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS

### 5.3.1 Determinación de los constituyentes básicos en el influente y efluentes

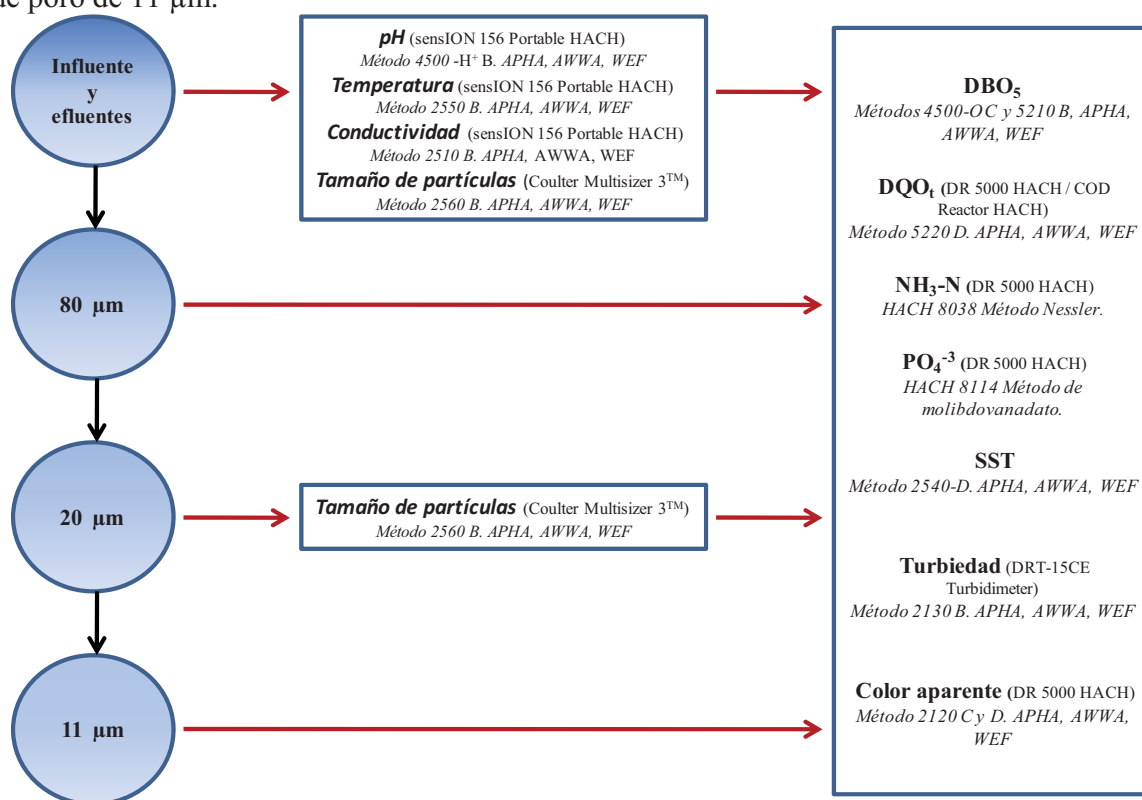
Una vez colectadas las muestras se realizaron las mediciones *in situ* de la temperatura, pH y conductividad. Para el tamaño de partículas, DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, turbiedad y color aparente se determino cada parámetro dentro de los tiempos y de acuerdo a lo establecido por APHA, AWWA, WEF, 2005 mostrados en la **Tabla 5.1**. El ortofosfato y nitrógeno amoniacal fueron determinados con los métodos HACH. Todas las muestras se pusieron a temperatura ambiente previo a su análisis.

### 5.3.2 Fraccionado de las muestras

Para determinar la concentración de los contaminantes y la distribución de partículas para diferentes tamaños fue necesario fraccionar las muestras en diferentes intervalos de tamaños tanto en el agua residual como en las tratadas. Para la filtración se usaron portafiltras de 25 mm marca Swinnex MILLIPORE™ y tres tipos de filtros de malla de nylon hidrófilo MILLIPORE™ cuyos tamaños de poro son de 80 µm, 20 µm y 11 µm.

Las muestras tomadas del influente y de los efluentes se fraccionaron de manera simultánea en cuatro partes por medio de una filtración serial. Esta filtración serial se llevó a cabo dentro de la primera hora después de haberse realizado el muestreo y las fracciones obtenidas fueron almacenadas en envases de polietileno de color de 500 ml de capacidad con tapa hermética.

La **Figura 5.5** esquematiza la manera como se fueron fraccionando las muestras así como los parámetros que se midieron en cada caso y los equipos más relevantes utilizados. A dos terceras partes del volumen del influente y de los efluentes se les hizo pasar primero a través del filtro con tamaño de poro de 80 µm, consecutivamente un volumen significativo de la muestra filtrada se hizo pasar a través del filtro con tamaño de poro de 20 µm y por último de manera similar una fracción de ésta muestra se filtro a través de la membrana con un tamaño de poro de 11 µm.



**Figura 5.5** Representación esquemática del procedimiento de fraccionado de las muestras del influente y de los efluentes

Con las muestras fraccionadas se obtienen los valores de los parámetros básicos de forma acumulada y por medio del cálculo de la diferencia entre los valores se obtiene el contenido calculado para cada uno de los intervalos de interés. Estos valores permiten establecer la relación que existe entre los parámetros básicos y el tamaño de partículas.

Los valores reportados en los resultados son obtenidos de la siguiente manera; para el total y para el intervalo  $< 11\mu\text{m}$  es el de las determinaciones puntuales de los parámetros tradicionales, los valores de los intervalos de tamaño de  $11 - 20 \mu\text{m}$ ,  $20 - 80 \mu\text{m}$  y  $> 80 \mu\text{m}$  es el calculado por medio de la diferencia entre los todos valores determinados de manera puntual para los parámetros tradicionales.

Se determinó el tamaño de partículas para las muestras totales y las muestras filtradas a  $20 \mu\text{m}$  del influente y efluentes, ya que con éstas dos se obtiene la distribución de tamaño de partículas en el intervalo de estudio como se expone a continuación.

### 5.3.3 Determinación del tamaño de partículas

Para determinar el tamaño de partículas se utilizó un equipo que opera con la técnica de escaneo de corriente, por el principio de Coulter. El tamaño de partículas fue el primer parámetro que se llevó a cabo, evitando así la posibilidad de cambios físicos y químicos causantes de error en el conteo. El equipo utilizado fue un Coulter Multisizer 3<sup>TM</sup>, provisto de dos tubos para la medición de partículas. Uno con una apertura de  $30 \mu\text{m}$  y el otro de  $100 \mu\text{m}$ , lo que hace posible la medición de partículas con un intervalo aproximado de  $0.6 - 60 \mu\text{m}$ . Para esto se realizó el siguiente procedimiento:

- Estandarizar la apertura de cada uno de los tubos, con el empleo de micro esferas estandarizadas (Coulter CC<sup>TM</sup> Nominal  $10 \mu\text{m}$  Latex Beads) de acuerdo con las especificaciones de fábrica.
- Determinación del coeficiente de variación para cada uno de los tubos empleados.
- Suspensión de un volumen conocido de muestra en una solución salina (el Isoton II<sup>TM</sup>, electrolito basado en 0.9% de sales fue filtrado a  $0.22 \mu\text{m}$  con filtros de  $470 \text{ mm}$  GS MILLIPORE<sup>TM</sup>) hasta alcanzar entre el 5 y 10% de concentración de la muestra en la solución electrolítica.
- Agitación de la muestra dentro del dispositivo de medición (ininterrumpida y suave proporcionada por el equipo).
- Iniciar el contador de partículas de acuerdo con el volumen fijado que se determinó medir (este equipo trabaja con el software Beckman Coulter Multisizer 3<sup>TM</sup> Versión 3.41, en el cual es posible generar diferentes tipos de distribuciones de tamaños de partículas).

- Los resultados del conteo de partículas, fueron enviados a la memoria de la computadora (los datos obtenidos incluyen, distribuciones de tamaño de partículas, diámetro de partícula y volumen, concentraciones de partículas, etc., los cuales son determinados después de la sustracción de un blanco de control que cuenta y considera la adición del Isoton II<sup>TM</sup>).

Para la determinación de los tamaños de partículas con el tubo de apertura de 100  $\mu\text{m}$  se utilizaron las muestras del influente y de los efluentes sin filtrar (muestras totales), con el tubo de apertura de 30  $\mu\text{m}$  se utilizaron las muestras fraccionadas con la membrana de tamaño de poro de 20  $\mu\text{m}$ .

Cada una de las muestras fue analizada tres veces, el equipo tiene la capacidad de determinar, el número, volumen, área, etc., para efectos de este estudio sólo se utilizaron las distribuciones en número y en volumen. El intervalo de análisis de cada una de las distribuciones de tamaños de partículas fue de 1 – 60  $\mu\text{m}$  generalmente.

La distribución de partículas tanto en número como en volumen fue calculada desde los datos de la distribución del tamaño de partículas asumiendo que estas son de forma esférica con un diámetro igual al promedio logarítmico del diámetro de partículas medido en cada rango de tamaños. Por lo que los intervalos de tamaño de partículas analizados son los mismos para las distribuciones en número como para las distribuciones en volumen.

#### *5.3.4 Relación de los parámetros físicos, químicos y el tamaño de partículas*

Con las muestras totales y las fraccionadas para el influente como para los efluentes y la determinación de los parámetros básicos se obtienen las remociones de los contaminantes, así como de las partículas por medio de la reducción existente en cada uno de los intervalos estudiados de los efluentes.

Una vez obtenidos los resultados del tamaño de las partículas en los diferentes intervalos de tamaño se estableció la correlación con el contenido de los parámetros determinados y calculados para cada uno de los intervalos de tamaño.

A partir de las relaciones establecidas entre los parámetros básicos y los tamaños de partículas en volumen se realizaron diferentes gráficos donde se muestra la existencia de una proporcionalidad lineal entre ambos parámetros. Por medio de los gráficos determinados se obtuvieron las ecuaciones lineales representativas para cada una de las relaciones establecidas.

En la **Figura 5.6** se presenta el diagrama de flujo de la experimentación y de la obtención de los resultados necesarios para la comparación del desempeño de los procesos biológicos, así como la determinación de las relaciones entre el tamaño de las partículas y el contenido de los parámetros tradicionales.

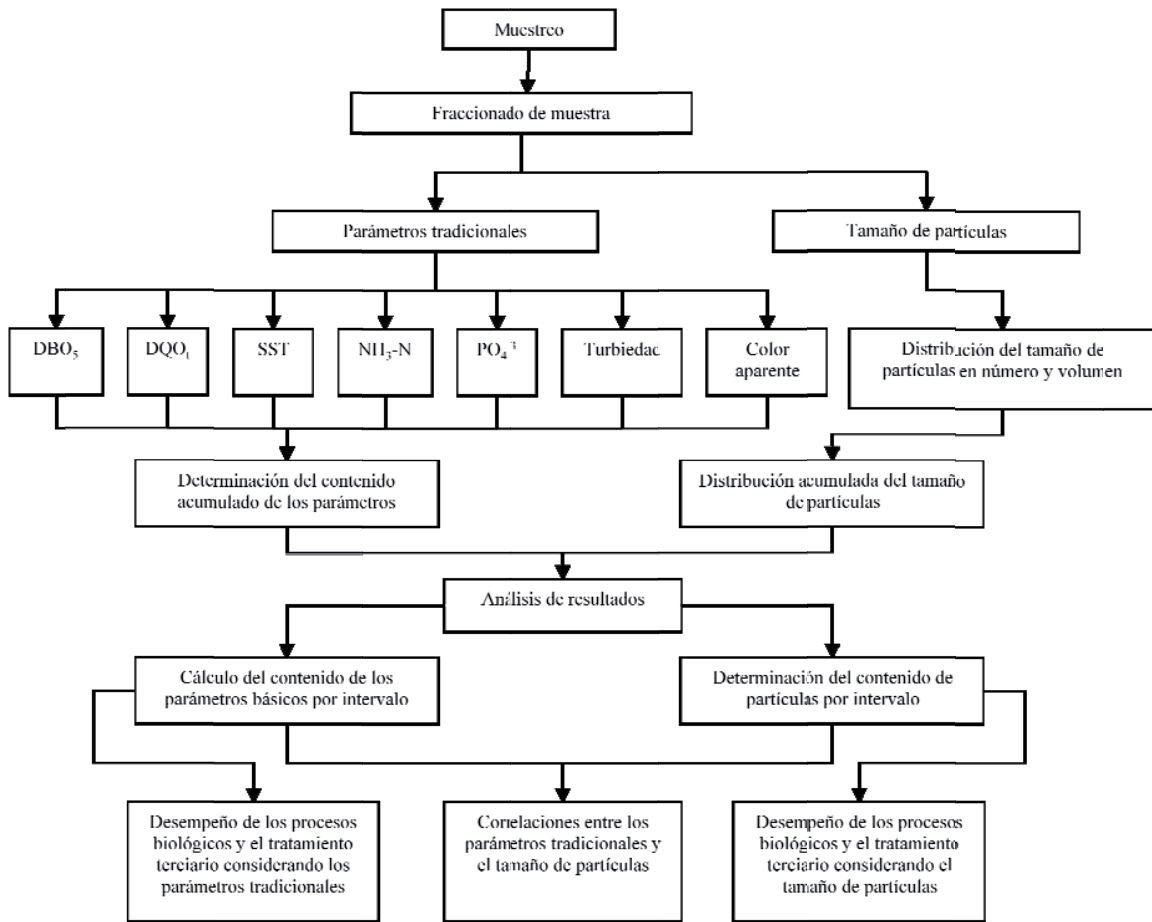


Figura 5.6 Diagrama de flujo de la etapa experimental



## 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 6.1 INFLUENTE

#### 6.1.1 Parámetros físicos y químicos

Los parámetros determinados en la PTAR CU, fueron obtenidos a partir de muestras puntuales tomadas durante los meses de mayo y junio de 2008. En la **Tabla 6.1** se presentan los valores promedio de los constituyentes básicos del influente obtenidos en este estudio. En ella se establece que dichos valores son cercanos a los reportados como característicos de las aguas residuales municipales con concentraciones medias de estos contaminantes de acuerdo con Metcalf & Eddy, 2003.

**Tabla 6.1** Valores promedio determinados en el influente

Parámetro	Este estudio		Literatura
	Concentración		Concentración media
	$\bar{x}$	$\pm \sigma_x$	
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	248	$\pm 25$	190
DQO <sub>t</sub> (mg/L)	586	$\pm 70$	430
SST (mg/L)	187	$\pm 18$	210
NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	63	$\pm 5.1$	
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/L)	66	$\pm 21$	
Turbiedad (NTU)	117	$\pm 27$	
Color Aparente (PtCo)	1706	$\pm 164$	
pH	8.2	$\pm 0.07$	
Temperatura (°C)	22.1	$\pm 0.5$	
Conductividad (μS/cm)	1980	$\pm 120$	

#### 6.1.2 Número y volumen de partículas en el influente

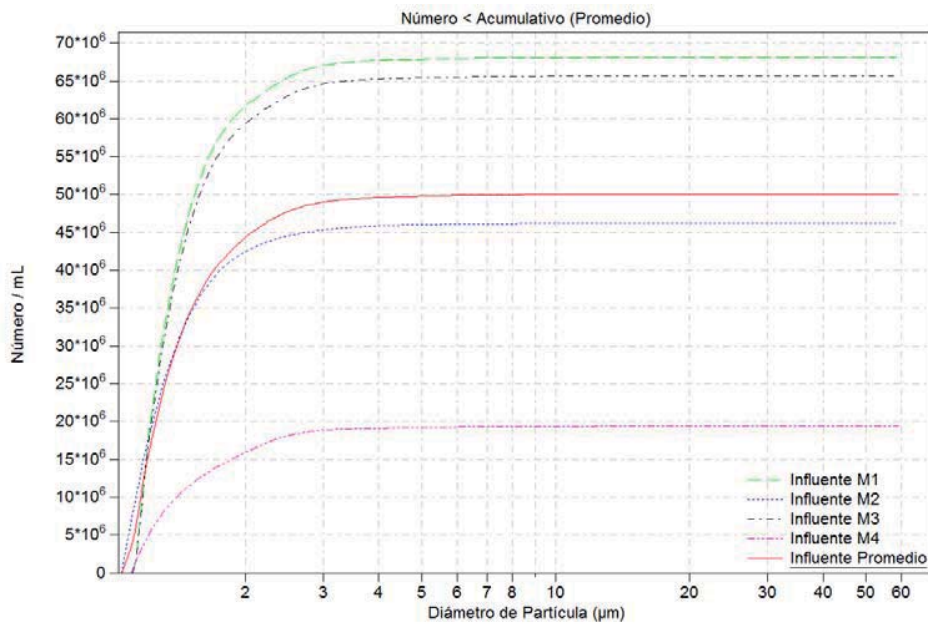
Respecto al volumen y número de partículas se determinó que existe una variación importante en las distribuciones en número y volumen de acuerdo a la fecha de muestreo (M) como resultado de la variabilidad de la calidad presente en el influente, como se observa en la **Tabla 6.2**. En promedio el número de partículas presentes fue de  $50 \times 10^6$  Número/mL las cuales ocupan un volumen de  $207 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{mL}$  en un intervalo de tamaño de análisis promedio de 1.0 – 60  $\mu\text{m}$ . Valores aproximadamente 4 veces menores que los reportados por Chávez, 2004 para aguas del valle de México.

**Tabla 6.2** Valores obtenidos de las distribuciones de tamaño de partículas en el influente

	Valores estadísticos		Valores puntuales ( $\times 10^6$ )			
	$\bar{x}$ ( $\times 10^6$ )	$\sigma_x$	M1	M2	M3	M4
No. de partículas (Número / mL)	50	23	68	46	65	19
Vol. de partículas ( $\mu\text{m}^3$ / mL)	207	62	269	164	243	141

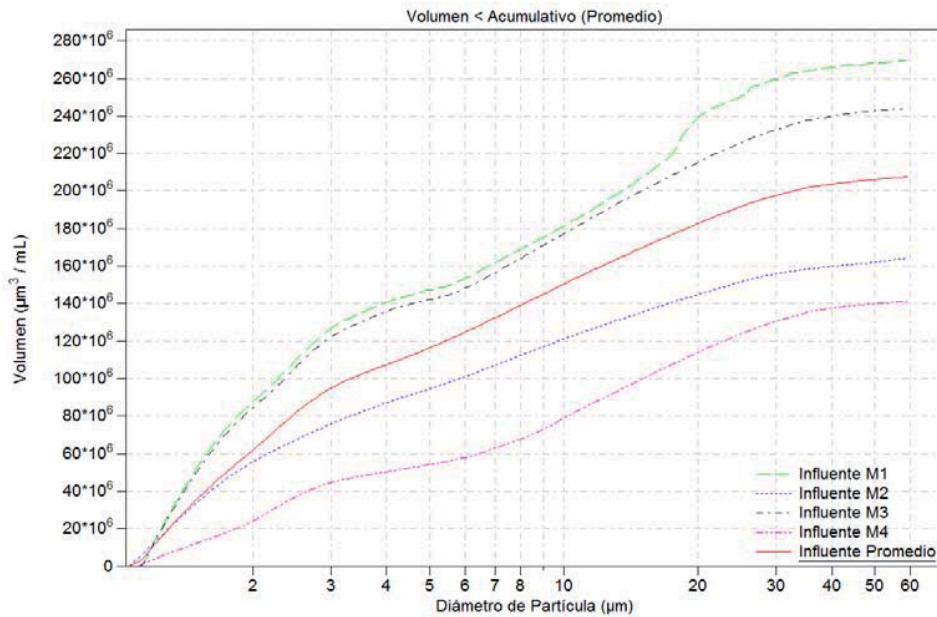
6.1.2.1 Número y volumen de partículas por intervalo de tamaño

La distribución de tamaño de partículas en número presentó una variación de  $19 \times 10^6$  Número/mL en el muestreo 4 (M4) como el valor mínimo registrado y en el muestreo 1 (M1) de  $68 \times 10^6$  Número/mL, siendo el valor máximo registrado, como se muestra en la **Figura 6.1**. En número el 99% de las partículas se distribuyen en el intervalo de partículas menores a los 11  $\mu\text{m}$ .



**Figura 6.1** Distribución acumulada de tamaño de partículas en número del influente de la PTAR CU

En volumen, el influente presentó como valor mínimo  $141 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{mL}$  y  $164 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{mL}$  de partículas como el valor máximo registrado. De las cuales el 74% corresponde al intervalo de tamaños de 1 – 11  $\mu\text{m}$  el 13% en el intervalo de 11 – 20  $\mu\text{m}$  y sólo el 12% presentaron un tamaño  $> 20 \mu\text{m}$  (**Figura 6.2**).



**Figura 6.2** Distribución acumulada de tamaño de partículas en volumen del influente de la PTAR CU

6.1.3 Distribución de los contaminantes con relación al tamaño

Las partículas menores a 11 µm son responsables de aportar hasta un 50% del contenido de DBO<sub>5</sub>, DQO<sub>t</sub>, la turbiedad, los nutrientes y el color aparente. Mientras que partículas mayores a 80 µm representan hasta en un 68% del valor los SST (**Tabla 6.3**).

**Tabla 6.3** Distribución promedio de los parámetros analizados en el influente

	Intervalos de tamaños				Total
	<11 µm	11-20 µm	20-80 µm	>80 µm	
DBO <sub>5</sub>					
mg/L (%)	148 (60)	36 (14)	29 (11)	36 (14)	248 (100)
DQO <sub>t</sub>					
mg/L (%)	419 (72)	29 (4.9)	52 (8.8)	86 (14)	586 (100)
SST					
mg/L (%)	17 (9.5)	11 (5.8)	30 (17)	128 (68)	187 (100)
NH <sub>3</sub> -N					
mg/L (%)	58 (92)	2.2 (3.5)	0.4 (0.6)	2.7 (4.3)	63 (100)
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>					
mg/l (%)	57 (87)	4.1 (5.5)	1.4 (2.3)	3.7 (4.8)	66 (100)
Turbiedad					
NTU (%)	59 (48)	25 (23)	16 (12)	17 (17)	117 (100)
Color aparente					
PtCo (%)	1395 (82)	93 (5.3)	121 (7.1)	97 (5.5)	1706 (100)

En términos de tratamiento significa que por su tamaño los SST son fácilmente removidos en cualquiera de los sistemas de tratamiento, ya que existe un porcentaje alto de partículas de mayor tamaño. A éstos se les da un manejo similar que a los lodos.

#### 6.1.4 Relación entre los parámetros tradicionales y el volumen de partículas del agua influente de la PTAR CU

En la actualidad existen diversos estudios que describen el comportamiento de algunos contaminantes físicos y químicos en las aguas residuales y tratadas, así como la relación que existe entre estos y los tamaños de partículas en diferentes procesos (ver Capítulo 4). En México, sólo existe un estudio donde se relaciona los parámetros de una calidad de agua cruda y tratada fisicoquímicamente en particular con el contenido de las partículas presentes (Chávez, 2004).

Como casi el total de las partículas en número son menores a 11 µm, esta condición impidió que se realizaran las relaciones entre número de partículas y el contenido de los diferentes parámetros como se menciona en la literatura (Levine, et al., 1991 y Odegard, 1998). Por lo que las relaciones se establecieron en función de las distribuciones de volumen de partículas.

##### 6.1.4.1 Color aparente y volumen de partículas

Con los valores obtenidos de color aparente en los diferentes intervalos de tamaños analizados y el volumen de las partículas se ha determinado la ecuación que establece dicha relación la cual queda representada por la ecuación (1) con una  $R^2$  de 0.89 (Figura 6.3). De acuerdo a la ecuación (1), se establece que la relación es útil y tiene validez para determinar el color aparente en el influente cuando varíe entre 50 a 1900 unidades de platino-cobalto (PtCo).

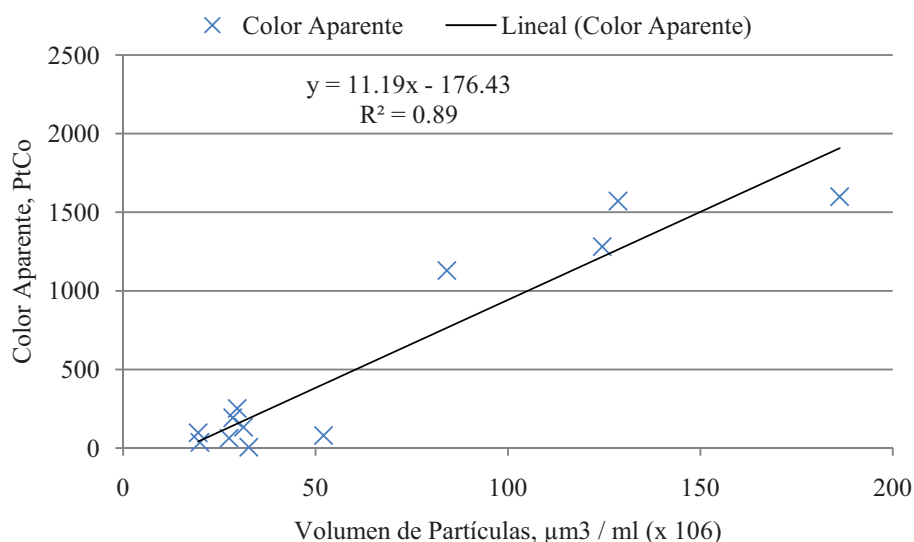
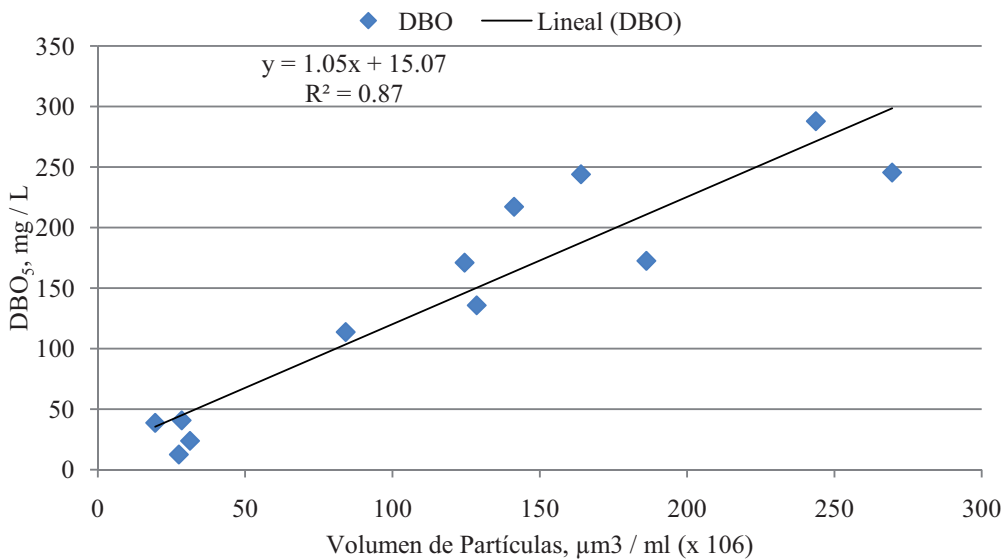


Figura 6.3 Relación entre el volumen de partículas y el color aparente del influente

$$\text{Color Aparente (PtCo)} = 11.2 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) - 176, R^2 \text{ de } 0.89 \quad (1)$$

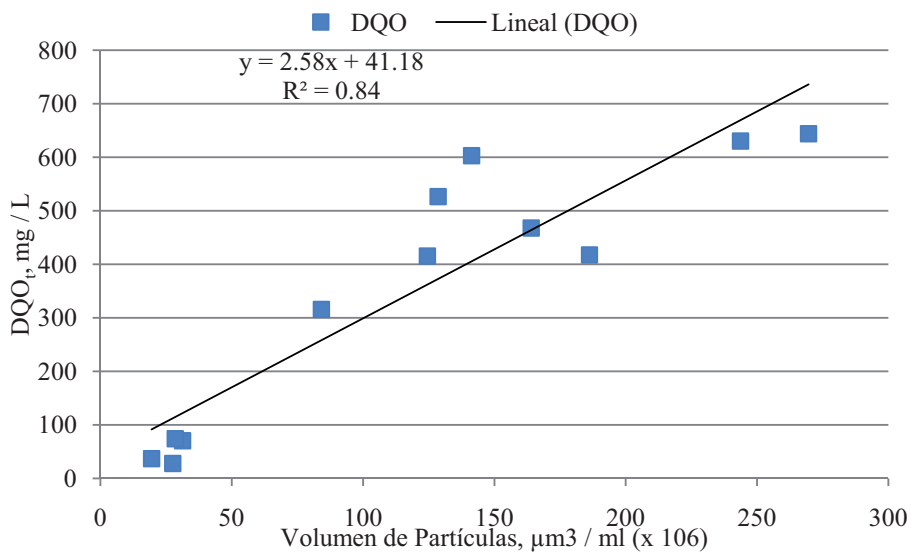
#### 6.1.4.2 DBO<sub>5</sub>, DQO<sub>t</sub> y volumen de partículas

Con los valores obtenidos de la DBO<sub>5</sub> y DQO<sub>t</sub> en los diferentes intervalos de tamaños analizados y el volumen de las partículas se obtuvieron las ecuaciones que establecen las relaciones mostradas en la **Figura 6.4** y **Figura 6.5** respectivamente. Estas quedan representadas por la ecuación (2) con una R<sup>2</sup> de 0.87 para un contenido de DBO<sub>5</sub> y aplicable para medir un contenido entre 40 a 300 mg/L y la ecuación (3) con una R<sup>2</sup> de 0.84 para medir la DQO<sub>t</sub> del influente con un contenido entre 95 y 740 mg/L.



**Figura 6.4** Relación entre el volumen de partículas y la DBO<sub>5</sub> en el influente

$$DBO_5 \text{ (mg/L)} = 1.05 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) + 15, R^2 \text{ de } 0.87 \quad (2)$$



**Figura 6.5** Relación entre el volumen de partículas y la DQO<sub>t</sub> en el influente

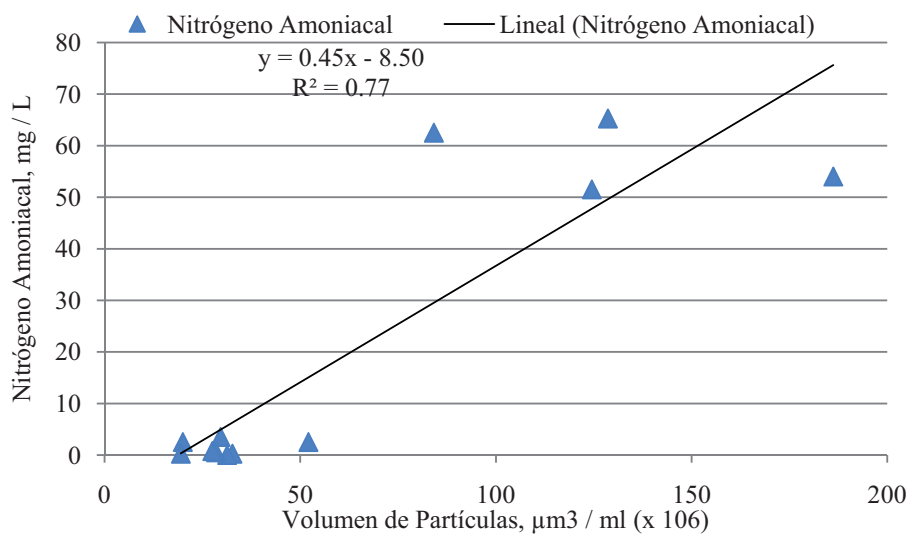
$$DQO_t \text{ (mg/L)} = 2.5 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) + 41, \quad R^2 \text{ de } 0.84 \quad (3)$$

Con las funciones obtenidas se tiene la ventaja al emplear la distribución del volumen de partículas para la determinación del color aparente, DBO<sub>5</sub> y DQO<sub>t</sub> de manera indirecta y confiable, así como la reducción del tiempo de respuesta de varios días a sólo algunos minutos.

El siguiente apartado, presenta las otras correlaciones determinadas para el influente. Sin embargo, por su coeficiente de correlación obtenido ( $< 0.8$ ) tienen validez pero poca utilidad práctica.

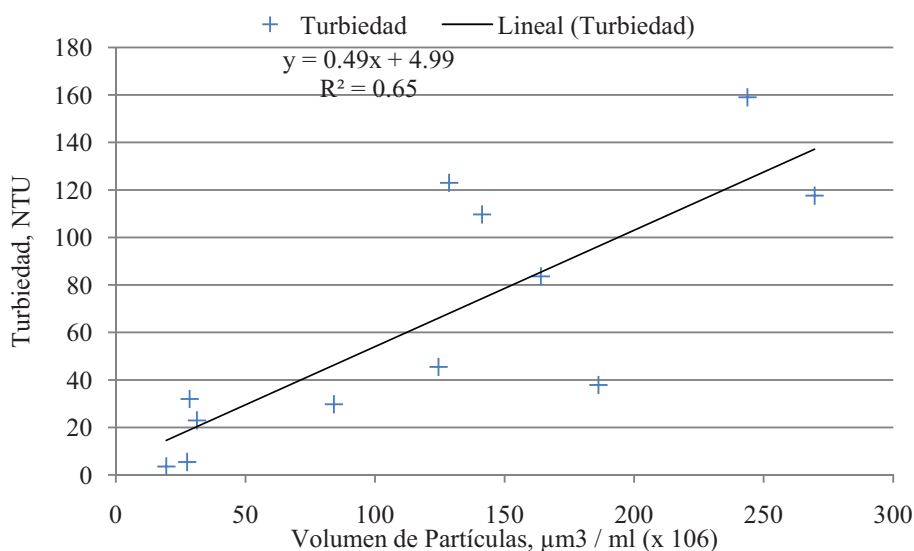
#### 6.1.4.3 NH<sub>3</sub>-N, turbiedad y volumen de partículas

Con los valores obtenidos del NH<sub>3</sub>-N y turbiedad en los diferentes intervalos de tamaños analizados y el volumen de las partículas determinado se obtuvieron las ecuaciones que establecen las relaciones mostradas en la **Figura 6.6** y **Figura 6.7** respectivamente. Las cuales quedan representadas por la ecuación (4) con una R<sup>2</sup> de 0.77 para la determinación del contenido de NH<sub>3</sub>-N entre 1 a 76 mg/L y la ecuación (5) con una R<sup>2</sup> de 0.65 para la turbiedad con un contenido que puede variar entre 15 a 137 NTU.



**Figura 6.6** Relación entre el volumen de partículas y el nitrógeno amoniacal en el influente

$$N \text{ amoniacal (mg/L)} = 0.45 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) - 8, \quad R^2 \text{ de } 0.77 \quad (4)$$

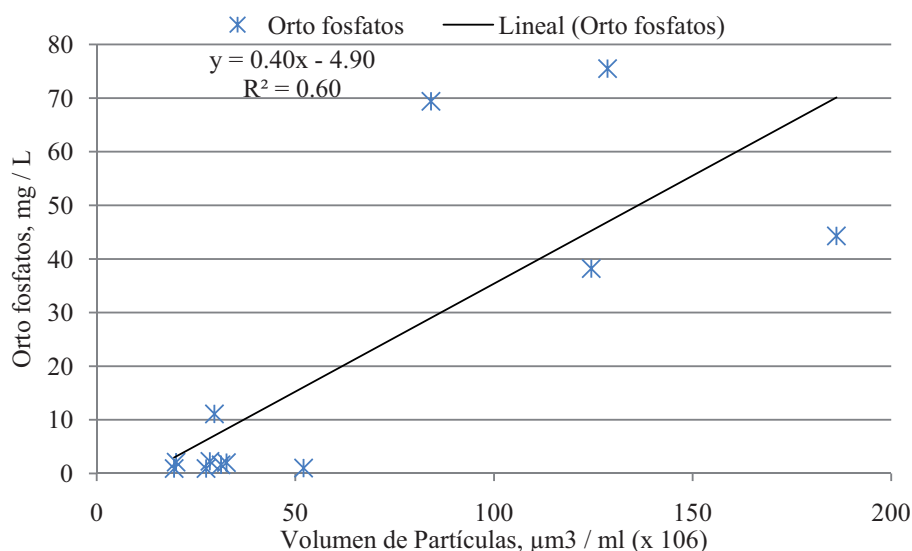


**Figura 6.7** Relación entre el volumen de partículas y la turbiedad en el influente

$$\text{Turbiedad (NTU)} = 0.49 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) + 4.9, \quad R^2 \text{ de } 0.65 \quad (5)$$

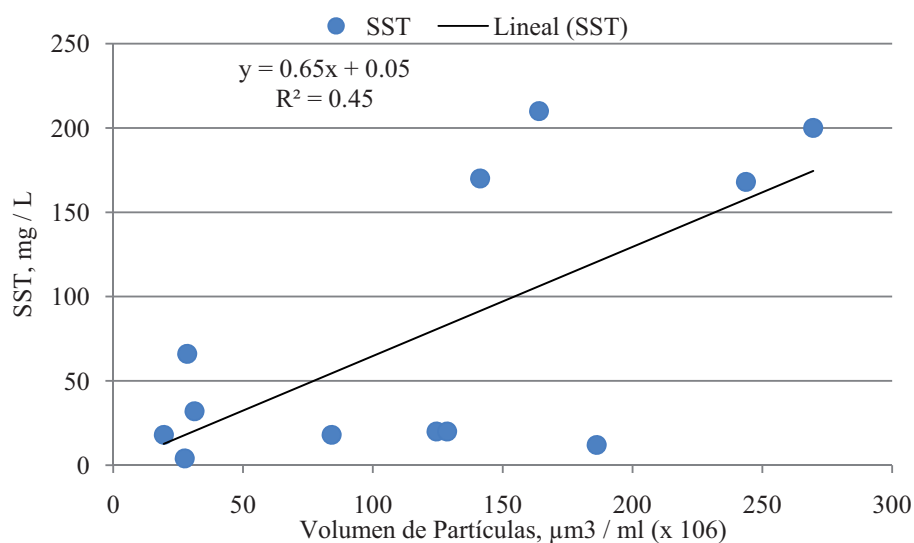
### 6.1.4.4 PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, SST y volumen de partículas

Con los valores obtenidos del PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> y SST en los diferentes intervalos de tamaños analizados y el volumen de las partículas determinado se establecen las relaciones mostradas en la **Figura 6.8** y **Figura 6.9** respectivamente. Las cuales quedan representadas por las ecuaciones (6) con una R<sup>2</sup> de 0.6 para un contenido de PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> entre 4 a 72 mg/L y la ecuación (7) con una R<sup>2</sup> de 0.45 para determinar el contenido de los SST entre 15 a 175 mg/L.



**Figura 6.8** Relación entre el volumen de partículas y el ortofosfato en el influente

$$\text{Ortofosfatos (mg/L)} = 0.4 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) - 4.9, \quad R^2 \text{ de } 0.6 \quad (6)$$



**Figura 6.9** Relación entre el volumen de partículas y los SST en el influente



$$SST \text{ (mg/L)} = 0.65 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) + 0.05, R^2 \text{ de } 0.45 \quad (7)$$

Con base a estos resultados se establece que a través del tamaño de partícula se puede determinar el contenido de los parámetros básicos en el influente. En cuanto a su aplicación práctica la expresión para determinar los parámetros es: color aparente > DBO<sub>5</sub> > DQO<sub>t</sub> > NH<sub>3</sub>-N > Turbiedad > PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> > SST.

## 6.2 EFLUENTES SECUNDARIOS

### 6.2.1 Parámetros físicos y químicos

Para comparar el desempeño de los procesos biológicos se determinó el porcentaje de remoción de los contaminantes en cada uno de los efluentes de los tres procesos biológicos estudiados.

En la **Tabla 6.4** se muestran los valores con los cuales se determina que el proceso de discos biológicos es el que presentó la mayor remoción en casi todos los parámetros a excepción de los SST donde la mayor remoción se obtiene en el proceso de lodos activados. Estos valores son comparados con los reportados en la literatura como la remoción promedio de los parámetros tradicionales, únicamente considerando la remoción reportada en efluentes secundarios.

**Tabla 6.4** Remoción de los parámetros tradicionales en los efluentes secundarios

Parámetro	Porcentaje de remoción (%)			
	Discos biológicos	Lodos activados	Filtro rociador	Metcalf-Eddy
Turbiedad	97	94	94	74
Color aparente	94	91	87	N.D
DQO <sub>t</sub>	93	90	85	N.D
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	89	87	83	N.D
NH <sub>3</sub> -N	89	88	76	N.D
DBO <sub>5</sub>	84	82	78	74
SST	77	79	76	55

En la **Tabla 6.5** se presentan los valores promedio y su variación, obtenida para el efluente de los procesos biológicos. Los valores puntuales correspondientes al efluente de cada uno de los tratamientos biológicos se encuentran en el Anexo A.

**Tabla 6.5** Contenido de los parámetros tradicionales en los efluentes secundarios

Parámetro	Lodos activados		Discos Biológicos		Filtro rociador	
	$\bar{x}$	$\pm \sigma_x$	$\bar{x}$	$\pm \sigma_x$	$\bar{x}$	$\pm \sigma_x$
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	42	± 10	38	± 6.1	53	± 6.5
DQO (mg/l)	51	± 18	39	± 8.7	87	± 19
SST (mg/l)	37	± 3.8	42	± 17	44	± 6.1
NH <sub>3</sub> -N (mg/l)	7	± 3.5	6.8	± 3.7	15	± 3.8
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/l)	8.7	± 3.5	7.7	± 5.2	11	± 6.6
Turbiedad (NTU)	6.2	± 2.6	2.5	± 1.4	6.8	± 3.4
Color Aparente (PtCo)	147	± 41	89	± 29	210	± 58
pH	6.9	± 0.06	7.27	± 0.04	7.6	± 0.06
Temperatura (°C)	21	± 0.47	21.9	± 0.3	21.9	± 0.5
Conductividad (µS/cm)	1219	± 80	1111	± 93	1265	± 123

### 6.2.2 Determinación del número y volumen de partículas en los efluentes secundarios

La **Tabla 6.6** presenta los valores promedio obtenidos de tamaño de partículas tanto en número como en volumen. Para el número se observa que son los lodos activados los que presentan la mejor remoción de partículas con respecto al obtenido con los procesos de discos biológicos y el filtro rociador. Así, el efluente de lodos activados contiene  $0.58 \times 10^6$  Número/mL (98% o 1.9 U log de remoción) en contraste con el efluente producido por el filtro rociador que contiene  $2.8 \times 10^6$  Número/mL (94% o 1.2 U log de remoción). Pero en el caso del volumen de partículas el efluente de los discos biológicos presento una mayor remoción con  $11.9 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{mL}$  (94% o 1.2 U log de remoción) y el de menor remoción fue nuevamente el efluente del filtro rociador con  $28.6 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{mL}$  (86% o 0.8 U log de remoción).

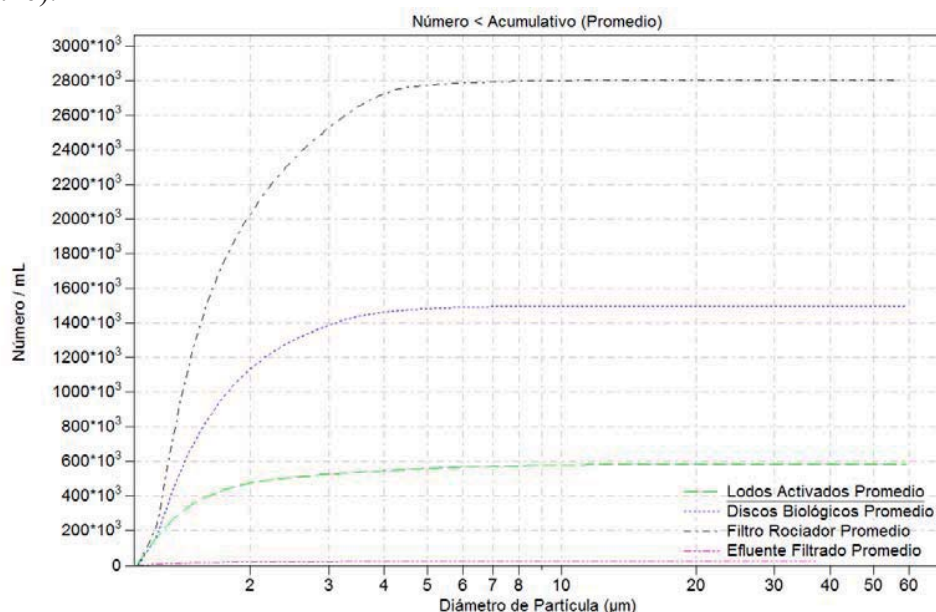
**Tabla 6.6** Valores obtenidos de las distribuciones de tamaño de partículas en el efluente de los tratamientos secundarios

	Lodos activados		Discos biológicos		Filtro rociador	
	$\bar{x}$	$\pm \sigma_x$	$\bar{x}$	$\pm \sigma_x$	$\bar{x}$	$\pm \sigma_x$
No. de partículas (Número / mL)	0.58	± 0.5	1.49	± 1.1	2.8	± 2.5
Vol. de partículas ( $\mu\text{m}^3$ / mL)	14.7	± 2.5	11.9	± 6.7	28.6	± 17

En el siguiente apartado se presenta la comparación de las distribuciones del tamaño de partícula.

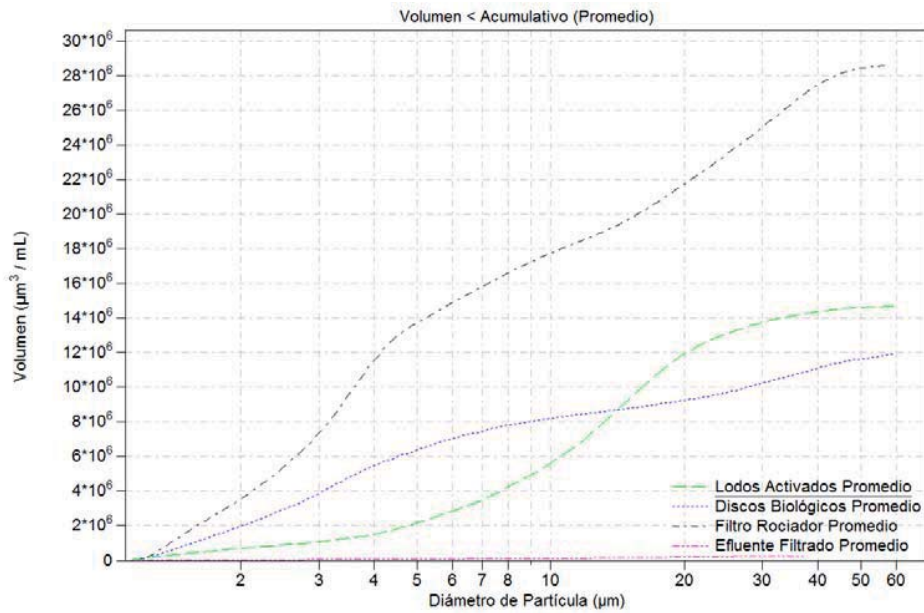
### 6.2.2.1 Distribución de las partículas en número y volumen

El intervalo de tamaño analizado varió entre 1 – 60  $\mu\text{m}$ , donde se observó que el 99% en número de las partículas remanentes se encuentran distribuidas en el intervalo de 1 – 11  $\mu\text{m}$  (**Figura 6.10**).



**Figura 6.10** Comparación de las distribuciones acumulativas del tamaño de partículas en número de los efluentes secundarios

La distribución del volumen de partículas para el efluente de los tres procesos se observa en la **Figura 6.11**. En los procesos de lodos activados, discos biológicos y filtro rociador se distribuyó el 42%, 70% y 63% del volumen respectivamente, para el intervalo de partículas de 1 – 11  $\mu\text{m}$ ; el 38%, 7% y 12 % en el intervalo de partículas de 11 – 20  $\mu\text{m}$ ; y el 18%, 22% y 23% del volumen en las partículas > 20  $\mu\text{m}$ .



**Figura 6.11** Comparación de las distribuciones acumulativas del tamaño de partículas en volumen de los efluentes secundarios

### 6.2.3 Distribución de los contaminantes con base en el tamaño

La distribución de los parámetros tradicionales en los cuatro intervalos de tamaño de estudio para el efluente de los tres procesos biológicos se muestra de forma detallada en la **Tabla 6.7**. De ella se desprende de manera importante que:

a)  $DBO_5$

Entre el 45 – 48% de la materia orgánica determinada como  $DBO_5$  en los efluentes de los procesos biológicos se encuentra asociada con las partículas  $<11 \mu\text{m}$ . Valores similares a los obtenidos por Sophonsiri y Morgenroth, 2004, que obtuvieron el 45%. Nieuwenhuijzen *et al.*, 2004, determinaron concentraciones  $> 45 \%$ .

b)  $DQO_t$

Para el caso de la materia orgánica determinada como  $DQO_t$  del 53 – 65% se encuentra asociado a las partículas  $< 11 \mu\text{m}$ . Estos son comparables a los mencionados por Levine *et al.*, 1991, que determinaron valores del 63 – 75%. Sophonsiri y Morgenroth, 2004, que obtuvieron el 77%. Nieuwenhuijzen *et al.*, 2004, determinaron concentraciones del 70 %. Xu *et al.*, en 2006, encontraron valores  $> 53\%$

c) SST

Del 45 – 50% de los sólidos se encuentran asociados a las partículas  $> 80 \mu\text{m}$ .

d)  $NH_3\text{-N}$

Se evaluó que el contenido de nitrógeno amoniacal en los efluentes secundarios se encuentra del 83 – 95% correspondiente a las partículas  $< 11 \mu\text{m}$ . Estos valores coinciden con los

estudios realizados por Odegaard, 1992, 1998; Cripps, 1995; Nies y Thiem, 1999; Lartigues *et al.*, 2001; que evaluaron el contenido de nutrientes tales como el nitrógeno en las aguas residuales determinando que la mayor parte corresponde a la fracción soluble y Nieuwenhuijzen *et al.*, en 2004, que determinaron que para el nitrógeno, solo el 7% se distribuyó en la fracción sedimentable, del 78 – 93% en la fracción coloidal y soluble, principalmente como nitrógeno amoniacal.

e)  $PO_4^{-3}$

Se determinó que la mayor parte del contenido de ortofosfato en el agua de los efluentes secundarios de la PTA CU fue del 87% para las partículas < 11  $\mu m$ . Odegaard, 1992, 1998; Cripps, 1995; Nies y Thiem, 1999; Lartigues *et al.*, 2001; evaluaron el contenido de fósforo determinando que la mayor parte corresponde a la fracción soluble, y su distribución depende del proceso debido a que este constituyente se encuentra asociado con los sólidos en los efluentes y Nieuwenhuijzen *et al.*, en 2004, determinaron que el fósforo distribuido en la fracción sedimentable es sólo el 11%, mientras que el 89% corresponde a la fracción coloidal y soluble.

f) Turbiedad

Se obtuvo que entre el 49 – 74% de la turbiedad está asociada a las partículas < 11  $\mu m$ . Nieuwenhuijzen *et al.*, en 2004, determinaron que el 62% de la turbiedad medida se encuentra como partículas suspendidas (5 – 45  $\mu m$ ).

g) Color aparente

Para el agua obtenida de los procesos biológicos se determinó que entre el 70 – 81% del color aparente se encuentra asociado a las partículas < 11  $\mu m$ . Este parámetro es de suma importancia ya que actualmente no se han realizado estudios sobre el color aparente asociado al tamaño de partículas.

**Tabla 6.7** Distribución promedio de los parámetros analizados en el efluente de los tres procesos biológicos

Proceso	Parámetro	Intervalos de tamaños				Total
		<11 $\mu m$	11-20 $\mu m$	20-80 $\mu m$	>80 $\mu m$	
<b>DBO<sub>5</sub></b>						
Lodos A.	mg/L (%)	18 (46)	7.5 (18)	6.0 (13)	10 (22)	42.5 (100)
Discos B.	mg/L (%)	18 (48)	8.7 (23)	4.8 (12)	6.7 (15)	38.1 (100)
Filtro R.	mg/L (%)	24 (45)	8.5 (16)	8.8 (16)	12 (23)	53.6 (100)
<b>DQO<sub>t</sub></b>						
Lodos A.	mg/L (%)	31 (63)	2.7 (6.4)	5.7 (10)	11 (20)	51 (100)
Discos B.	mg/L (%)	24 (65)	3.0 (7.3)	3.1 (9.3)	7.4 (17)	39 (100)
Filtro R.	mg/L (%)	46 (53)	3.0 (3.4)	7.3 (8.4)	30 (35)	87 (100)
<b>SST</b>						
Lodos A.	mg/L (%)	10 (27)	5.0 (12)	3.5 (9.0)	19 (50)	37 (100)
Discos B.	mg/L (%)	9.5 (23)	4.5 (11)	8.0 (19)	20 (47)	42 (100)
Filtro R.	mg/L (%)	10 (24)	3.0 (6.8)	10 (24)	20 (45)	44 (100)

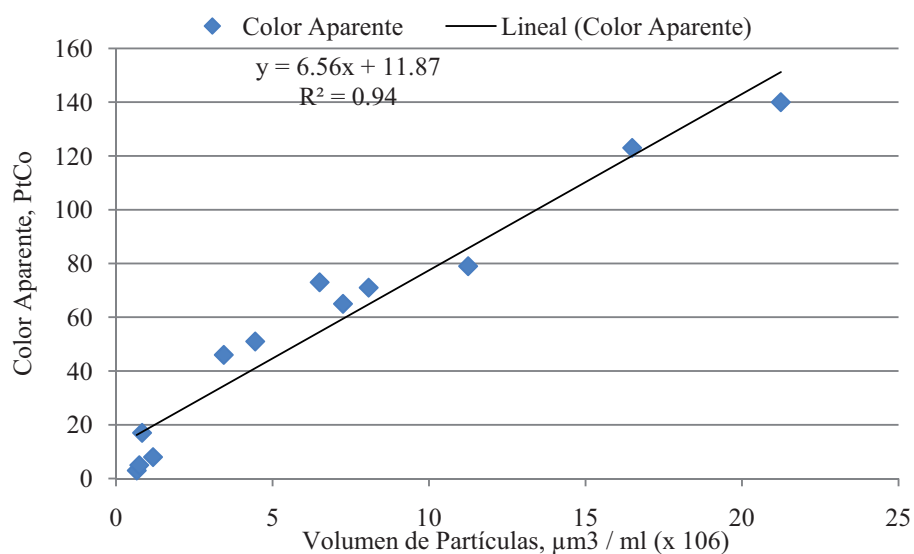
Proceso	Parámetro	Intervalos de tamaños				Total
		<11 $\mu\text{m}$	11-20 $\mu\text{m}$	20-80 $\mu\text{m}$	>80 $\mu\text{m}$	
NH <sub>3</sub> -N						
Lodos A.	mg/L (%)	6.5 (89)	0.2 (2.0)	0.1 (1.8)	0.6 (6.5)	7.3 (100)
Discos B.	mg/L (%)	5.7 (83)	0.5 (7.3)	0.5 (7.1)	0.2 (2.9)	6.8 (100)
Filtro R.	mg/L (%)	14 (95)	0.3 (1.7)	0.1 (0.8)	0.4 (2.4)	15 (100)
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>						
Lodos A.	mg/L (%)	7.5 (82)	0.4 (6.0)	0.4 (7.8)	0.4 (4.2)	8.8 (100)
Discos B.	mg/L (%)	7.3 (93)	0.2 (2.3)	0.2 (1.9)	0.2 (2.6)	7.8 (100)
Filtro R.	mg/L (%)	10 (90)	0.2 (1.9)	0.5 (3.8)	0.5 (4.0)	12 (100)
Turbiedad						
Lodos A.	NTU (%)	3.2 (51)	0.5 (14)	2.1 (27)	0.3 (6.7)	6.2 (100)
Discos B.	NTU (%)	1.9 (74)	0.1 (3.5)	0.3 (12)	0.3 (11)	2.5 (100)
Filtro R.	NTU (%)	3.3 (49)	1.2 (18)	0.8 (11)	1.5 (21)	6.8 (100)
Color aparente						
Lodos A.	PtCo (%)	104 (71)	10 (7.8)	20 (13)	11 (7.7)	147 (100)
Discos B.	PtCo (%)	72 (81)	8.3 (9.2)	1.8 (2.0)	6.5 (7.3)	89 (100)
Filtro R.	PtCo (%)	147 (70)	12 (6.1)	18 (8.9)	31 (15)	210 (100)

#### 6.2.4 Relación entre los diferentes parámetros y el volumen de partículas del efluente de los procesos biológicos

Con los valores obtenidos de los parámetros de estudio en los diferentes intervalos de tamaños analizados y el volumen de las partículas determinado por la distribución de tamaños de partículas para el efluente de los procesos biológicos, tenemos las siguientes relaciones.

##### 6.2.4.1 Color aparente y volumen de partículas

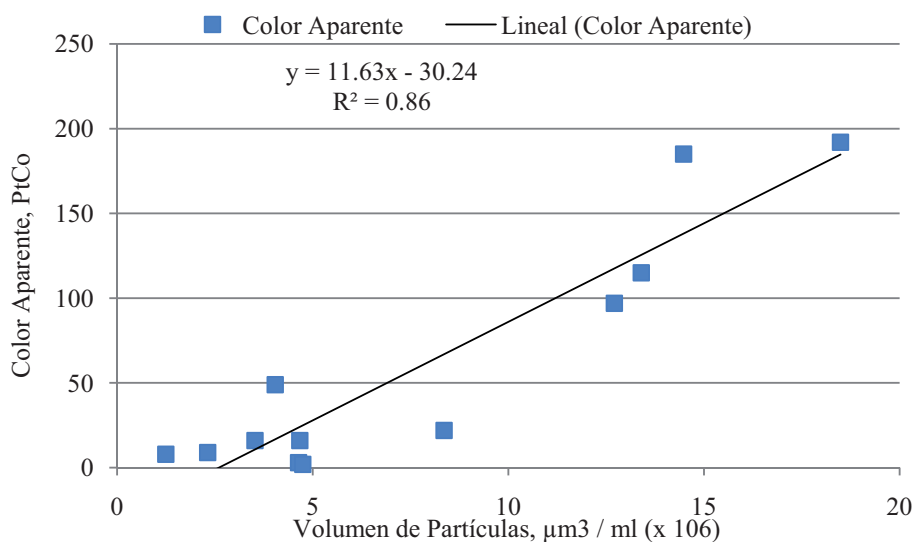
Las relaciones obtenidas para el color aparente se muestran en las siguientes figuras; de las cuales se obtuvo que pueden ser empleadas las determinadas para discos biológicos con la ecuación (8) y un R<sup>2</sup> de 0.94 para un contenido entre 17 a 152 PtCo (Figura 6.12) así como la obtenida para lodos activados con la ecuación (9) y un R<sup>2</sup> de 0.86 para el contenido entre 1 a 185 PtCo (Figura 6.13). Para el filtro rociador se obtuvo la ecuación (10) con un R<sup>2</sup> de 0.78 y un contenido entre 10 a 245 PtCo pero ésta tiene poca utilidad práctica (Figura 6.14).



**Figura 6.12** Relación entre el volumen de partículas y el color aparente en el efluente del proceso de discos biológicos

Discos biológicos

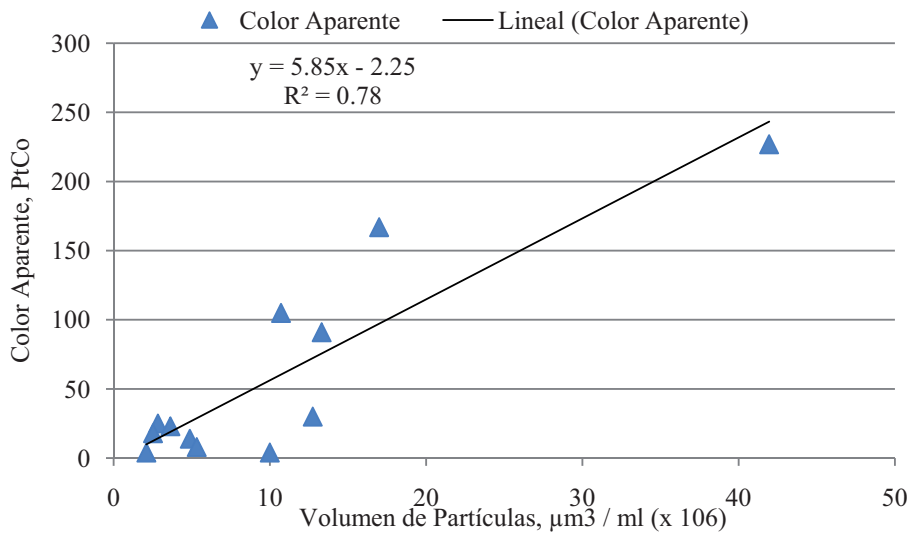
$$\text{Color Aparente (PtCo)} = 6.5 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) + 11.8, \quad R^2 \text{ de } 0.94 \quad (8)$$



**Figura 6.13** Relación entre el volumen de partículas y el color aparente en el efluente del proceso de lodos activados

Lodos activados

$$\text{Color Aparente (PtCo)} = 11.6 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) - 30. \quad R^2 \text{ de } 0.86 \quad (9)$$



**Figura 6.14** Relación entre el volumen de partículas y el color aparente en el efluente del proceso del filtro rociador

Filtro rociador

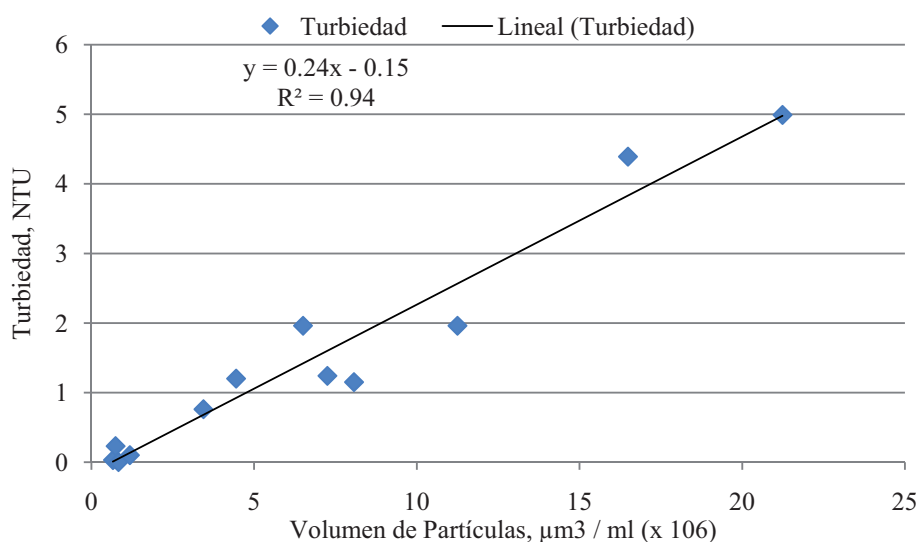
$$\text{Color Aparente (PtCo)} = 5.8 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) - 2.2, \quad R^2 \text{ de } 0.78 \quad (10)$$

Como se puede observar las ecuaciones sólo son válidas para cada proceso en particular. Las relaciones que tienen un coeficiente de correlación bajo es debido a la variación importante en la calidad de los efluentes.

#### 6.2.4.2 Turbiedad y volumen de partículas

Las relaciones obtenidas para la turbiedad se muestran en la **Figura 6.15**, **Figura 6.16** y **Figura 6.17**; de éstas se obtuvo que es factible su aplicación para discos biológicos la ecuación (11) con un  $R^2$  de 0.94 para determinar un contenido entre 0.1 a 5 NTU (**Figura 6.15**). Para el filtro rociador la ecuación (12) con un  $R^2$  de 0.73 para un contenido entre 0.5 a 7 NTU (**Figura 6.16**) y para lodos activados la ecuación (13) que tiene un  $R^2$  de 0.67 para un contenido de turbiedad entre 1 a 8.3 NTU (**Figura 6.17**). Estas dos últimas ecuaciones tienen poca utilidad práctica.

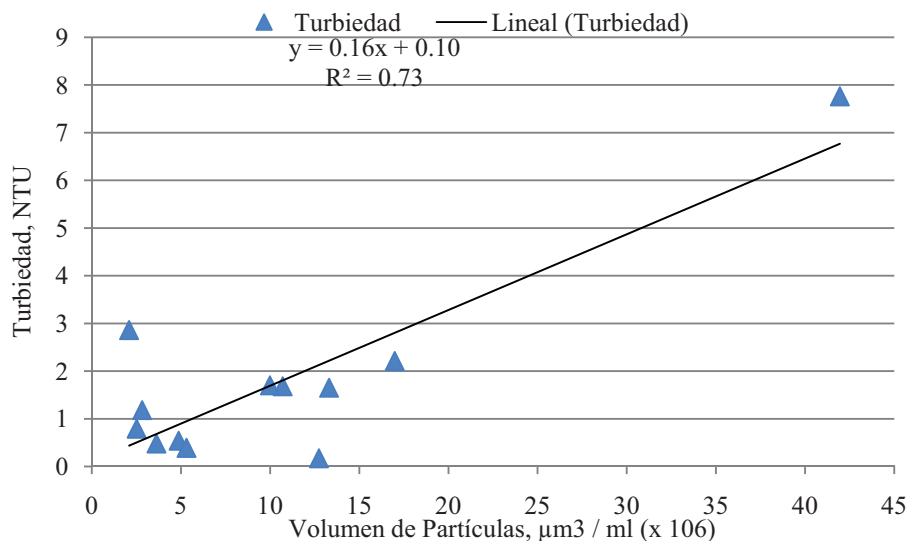




**Figura 6.15** Relación entre el volumen de partículas y la turbiedad en el efluente del proceso de discos biológicos

Discos biológicos

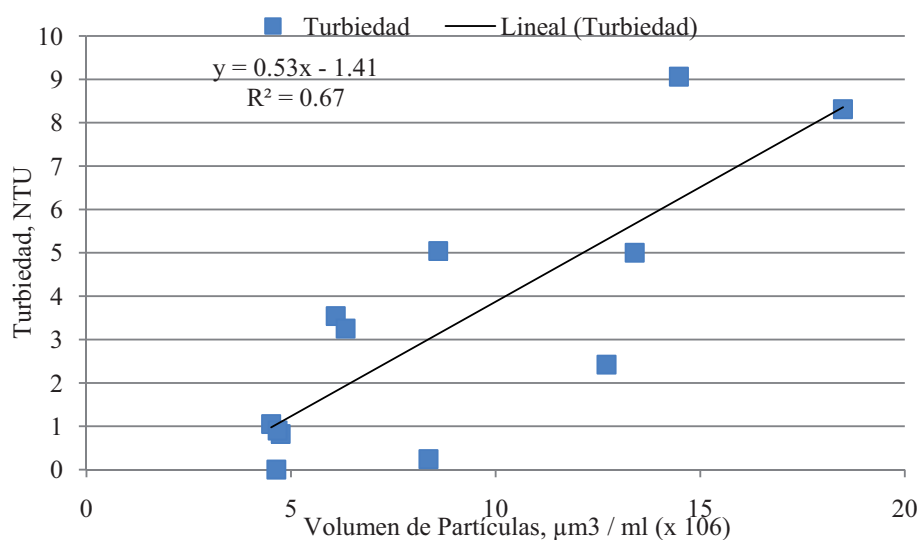
$$\text{Turbiedad (NTU)} = 0.24 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) - 0.15, \quad R^2 \text{ de } 0.94 \quad (11)$$



**Figura 6.16** Relación entre el volumen de partículas y la turbiedad en el efluente del proceso del filtro rociador

Filtro rociador

$$\text{Turbiedad (NTU)} = 0.16 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) + 0.1, \quad R^2 \text{ de } 0.73 \quad (12)$$



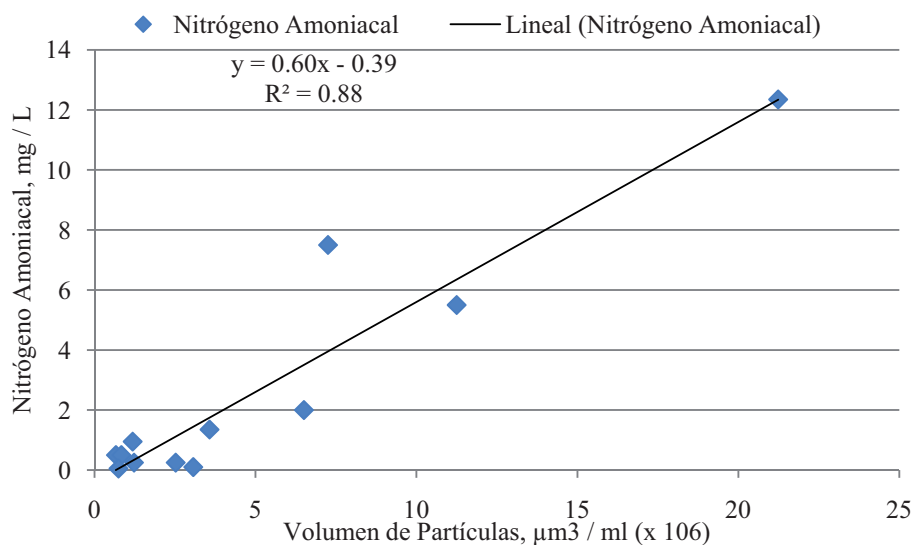
**Figura 6.17** Relación entre el volumen de partículas y la turbiedad en el efluente del proceso de lodos activados

Lodos activados

$$Turbiedad (NTU) = 0.53 \times \text{volumen de partículas} (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) - 1.4, \quad R^2 \text{ de } 0.67 \quad (13)$$

### 6.2.4.3 $\text{NH}_3\text{-N}$ y volumen de partículas

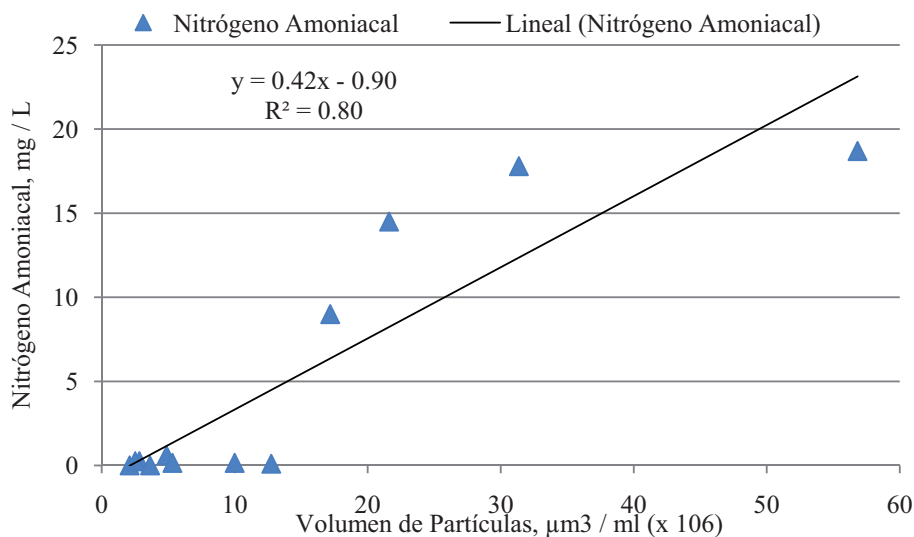
Las relaciones obtenidas para el  $\text{NH}_3\text{-N}$  se muestran en la **Figura 6.18**, **Figura 6.19** y **Figura 6.20**; es posible utilizar para discos biológicos la ecuación (14) con un  $R^2$  de 0.88 (**Figura 6.18**) para determinar un contenido entre 0.1 a 12.5 mg/L, para el filtro rociador la ecuación (15) con un  $R^2$  de 0.80 para un contenido entre 0.1 a 23 mg/L (**Figura 6.19**). Para lodos activados la ecuación (16) tuvo un  $R^2$  de 0.75 (**Figura 6.20**) para un contenido entre  $\text{NH}_3\text{-N}$  de 0.1 a 9.5 mg/L, la cual tiene poca aplicabilidad práctica.



**Figura 6.18** Relación entre el volumen de partículas y el nitrógeno amoniacaal en el efluente del proceso de discos biológicos

Discos biológicos

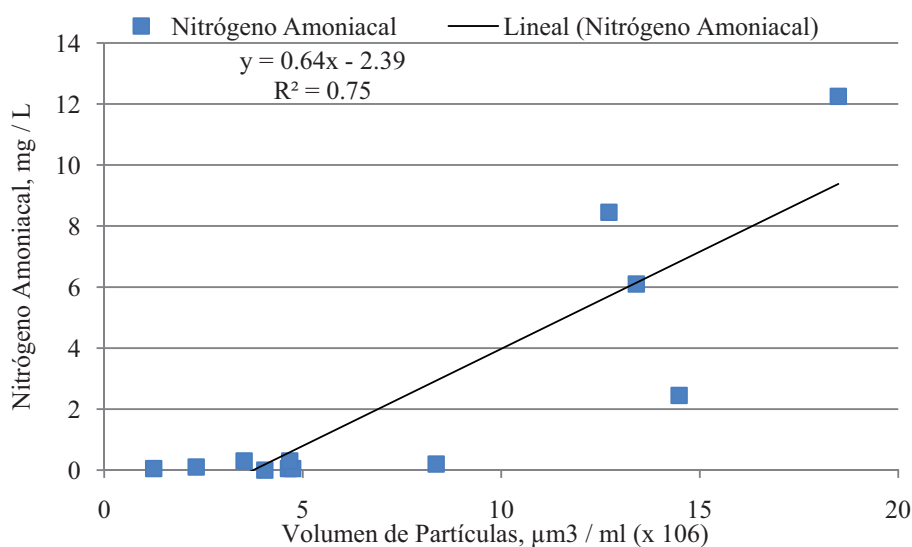
$$N \text{ amoniacaal (mg/L)} = 0.6 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) - 0.39, \quad R^2 \text{ de } 0.88 \quad (14)$$



**Figura 6.19** Relación entre el volumen de partículas y el nitrógeno amoniacaal en el efluente del proceso del filtro rociador

Filtro rociador

$$N \text{ amoniacaal (mg/L)} = 0.42 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) - 0.9, \quad R^2 \text{ de } 0.80 \quad (15)$$



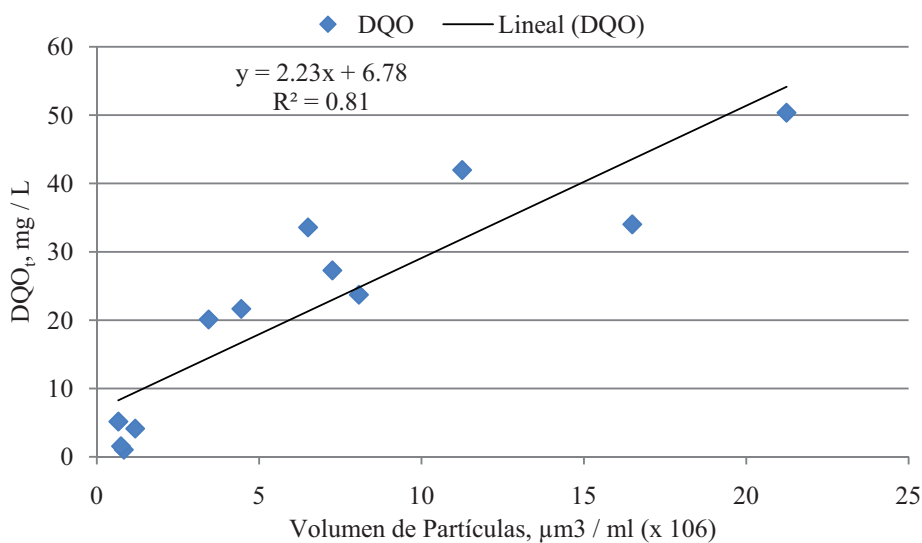
**Figura 6.20** Relación entre el volumen de partículas y el nitrógeno amoniacal en el efluente del proceso de lodos activados

Lodos activados

$$N_{\text{ amoniacal}} (\text{mg/L}) = 0.64 \times \text{volumen de partículas} (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) - 2.3, \quad R^2 \text{ de } 0.75 \quad (16)$$

#### 6.2.4.4 DQO<sub>t</sub> y volumen de partículas

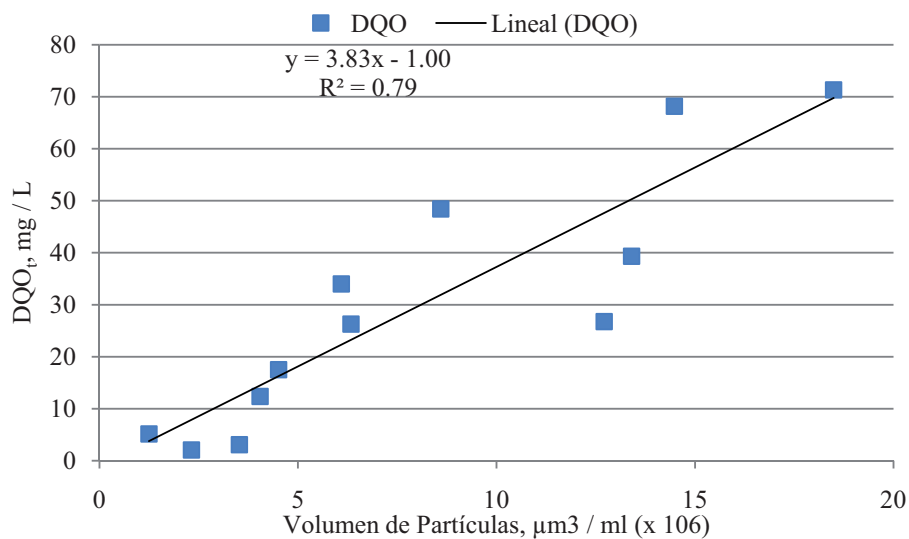
Las relaciones obtenidas para la DQO<sub>t</sub> se observan en la **Figura 6.21**, **Figura 6.22** y **Figura 6.23**. De las cuales se tiene para discos biológicos la ecuación (17) con un R<sup>2</sup> de 0.81 aplicable para determinar un contenido entre 8 a 54 mg/L (**Figura 6.21**). Para lodos activados la ecuación (18) con un R<sup>2</sup> de 0.79 para un contenido entre 4 a 70 mg/L (**Figura 6.22**) que podría considerarse para fines prácticos y para el filtro rociador la ecuación (19) con un R<sup>2</sup> de 0.70 para un contenido de DQO<sub>t</sub> entre 16 a 118 mg/L (**Figura 6.23**) pero que tiene poca utilidad práctica.



**Figura 6.21** Relación entre el volumen de partículas y la DQO<sub>t</sub> en el efluente del proceso de discos biológicos

Discos biológicos

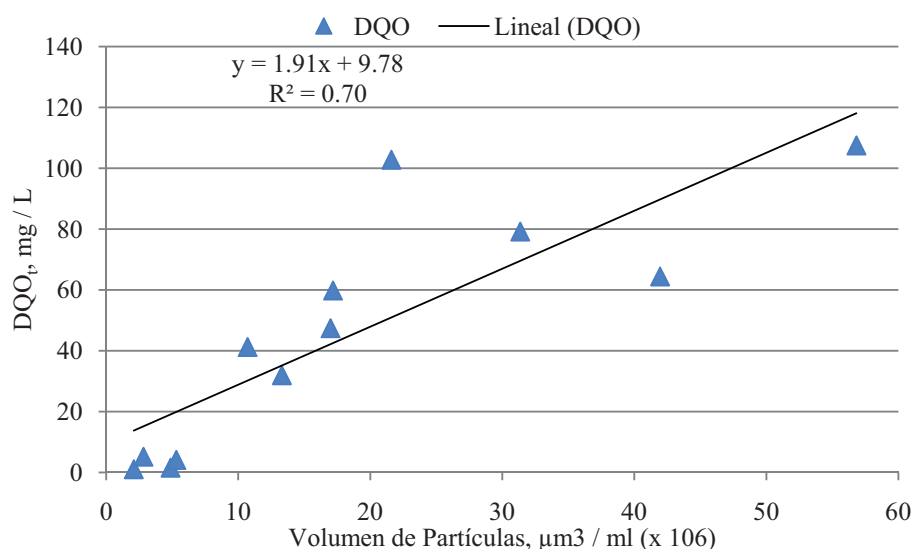
$$DQO_t \text{ (mg/L)} = 2.2 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) + 6.7, \quad R^2 \text{ de } 0.81 \quad (17)$$



**Figura 6.22** Relación entre el volumen de partículas y la DQO<sub>t</sub> en el efluente del proceso de lodos activados

Lodos activados

$$DQO_t \text{ (mg/L)} = 3.8 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) - 1, \quad R^2 \text{ de } 0.79 \quad (18)$$



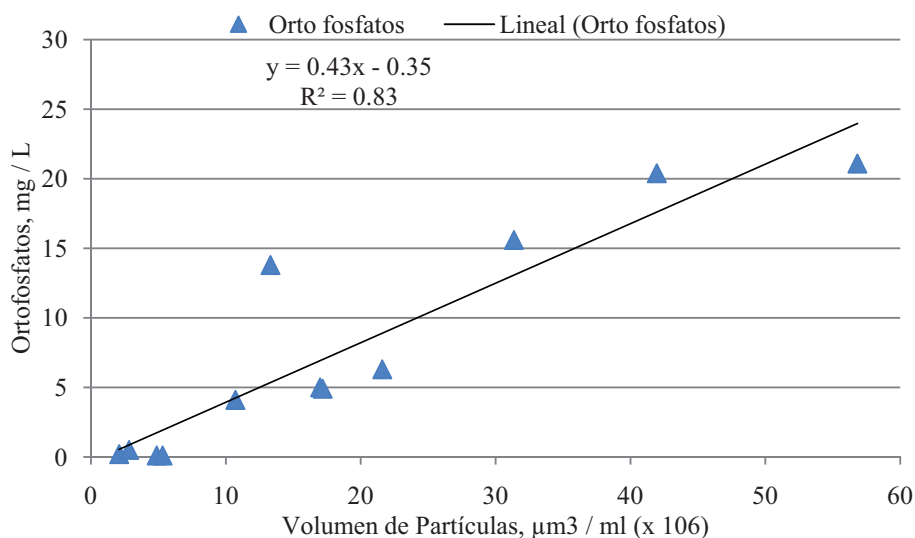
**Figura 6.23** Relación entre el volumen de partículas y la DQO<sub>t</sub> en el efluente del proceso del filtro rociador

Filtro rociador

$$DQO_t \text{ (mg/L)} = 1.9 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) + 9.7, \quad R^2 \text{ de } 0.7 \quad (19)$$

#### 6.2.4.5 PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> y volumen de partículas

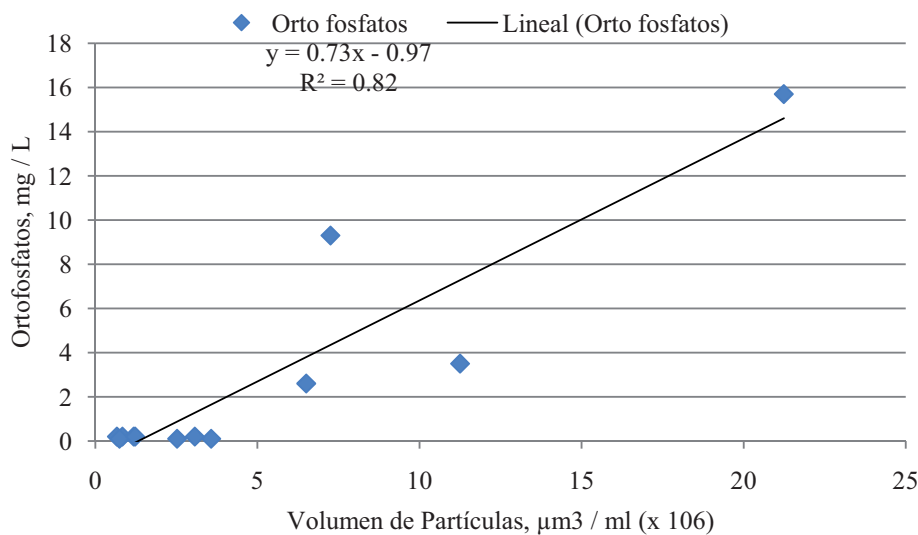
Las relaciones obtenidas para el ortofosfato se muestran en la **Figura 6.24**, **Figura 6.25** y **Figura 6.26**; de las cuales se obtuvo que pueden ser utilizables para el filtro rociador la ecuación (20) con un R<sup>2</sup> de 0.83 para determinar un contenido entre 1 a 24 mg/L (**Figura 6.24**) y para discos biológicos la ecuación (21) con un R<sup>2</sup> de 0.82 para un contenido entre 0.1 a 14.5 mg/L (**Figura 6.25**). Para lodos activados se obtuvo la ecuación (22) con un R<sup>2</sup> de 0.53 (**Figura 6.26**) que es poco aplicable.



**Figura 6.24** Relación entre el volumen de partículas y los  $\text{PO}_4^{-3}$  en el efluente del proceso del filtro rociador

Filtro rociador

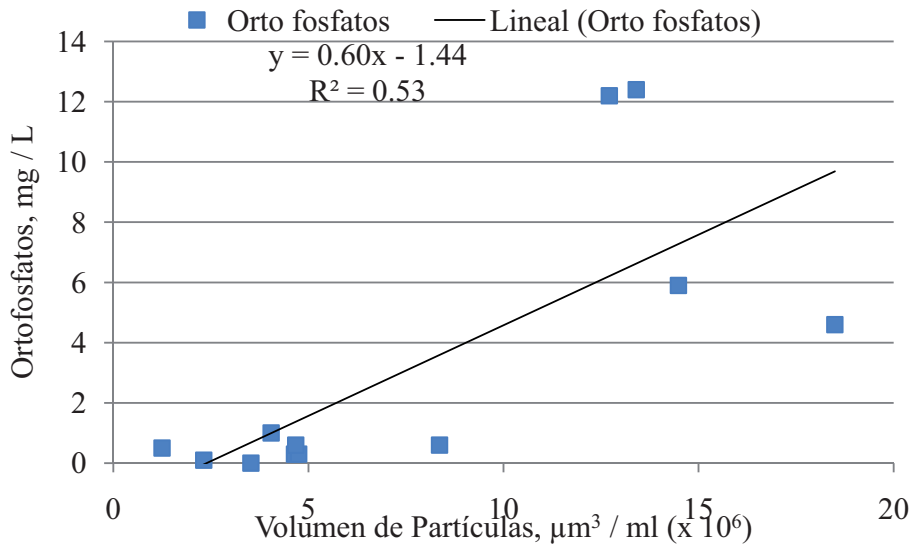
$$\text{Ortofosfatos (mg/L)} = 0.43 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) - 0.3, \quad R^2 \text{ de } 0.83 \quad (20)$$



**Figura 6.25** Relación entre el volumen de partículas y los  $\text{PO}_4^{-3}$  en el efluente del proceso de discos biológicos

Discos biológicos

$$\text{Ortofosfatos (mg/L)} = 0.73 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) - 0.97, \quad R^2 \text{ de } 0.82 \quad (21)$$



**Figura 6.26** Relación entre el volumen de partículas y los  $\text{PO}_4^{-3}$  en el efluente del proceso de lodos activados

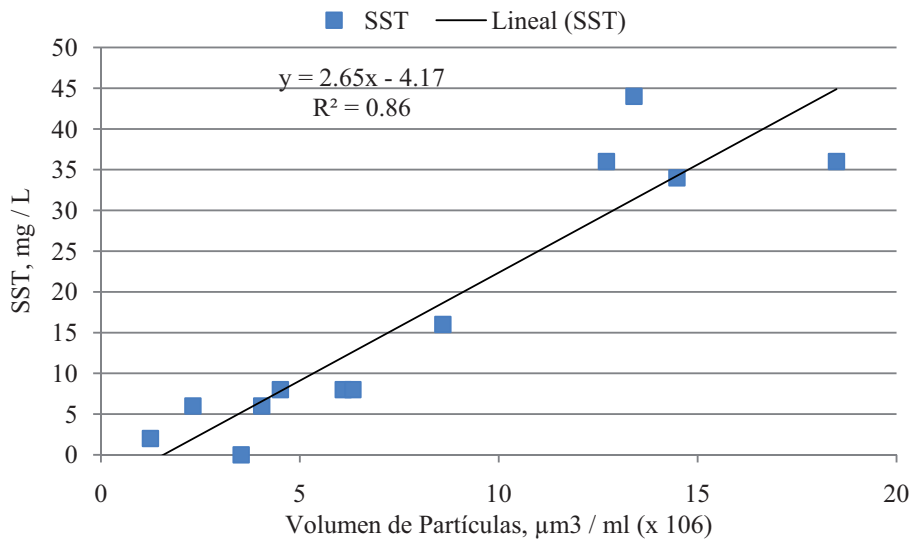
Lodos activados

$$\text{Ortofosfatos (mg/L)} = 0.6 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) - 1.4, \quad R^2 \text{ de } 0.53 \quad (22)$$

#### 6.2.4.6 SST y volumen de partículas

Las relaciones obtenidas para los SST se observan en la **Figura 6.27**, **Figura 6.28** y **Figura 6.29**; de las cuales se obtuvo que tiene utilidad práctica para lodos activados la ecuación (23) con un  $R^2$  de 0.86 para un contenido de SST entre 1 a 45 mg/L (**Figura 6.27**). Para el filtro rociador se determinó la ecuación (24) con un  $R^2$  de 0.77 para un contenido entre 7 a 63 mg/L (**Figura 6.28**) y para discos biológicos la ecuación (25) con un  $R^2$  de 0.71 para un contenido de sólidos desde 6 a 65 mg/L (**Figura 6.29**), las cuales tienen poca utilidad práctica.

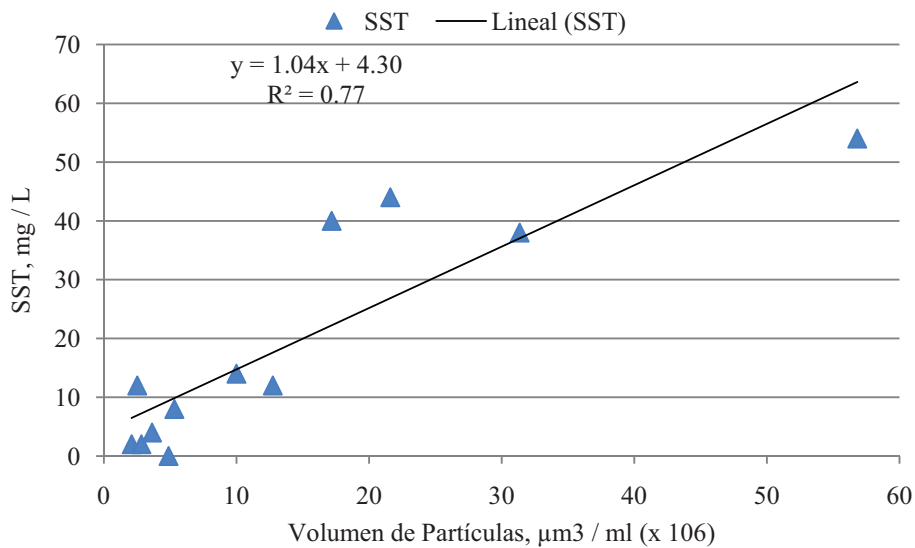




**Figura 6.27** Relación entre el volumen de partículas y los SST en el efluente del proceso de lodos activados

Lodos activados

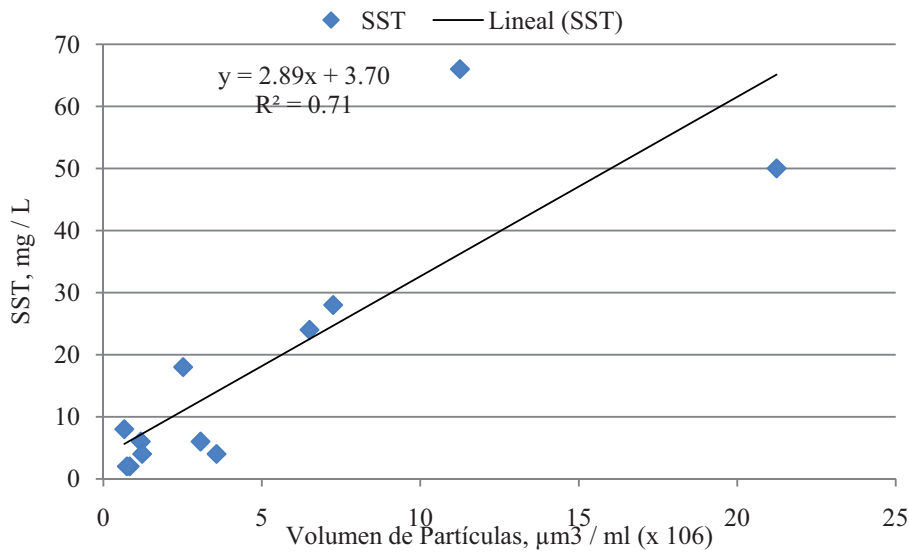
$$SST \text{ (mg/L)} = 2.6 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) - 4.1, \quad R^2 \text{ de } 0.86 \quad (23)$$



**Figura 6.28** Relación entre el volumen de partículas y los SST en el efluente del proceso del filtro rociador

Filtro rociador

$$SST \text{ (mg/L)} = 1.0 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) + 4.3, \quad R^2 \text{ de } 0.77 \quad (24)$$



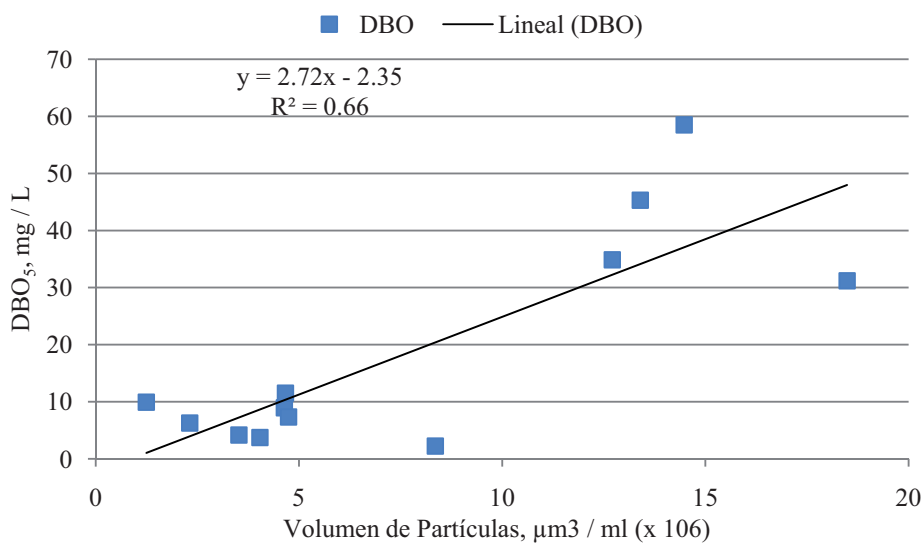
**Figura 6.29** Relación entre el volumen de partículas y los SST en el efluente del proceso de discos biológicos

Discos biológicos

$$SST \text{ (mg/L)} = 2.8 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3/\text{ml}) + 3.7, \quad R^2 \text{ de } 0.71 \quad (25)$$

#### 6.2.4.7 DBO<sub>5</sub> y volumen de partículas

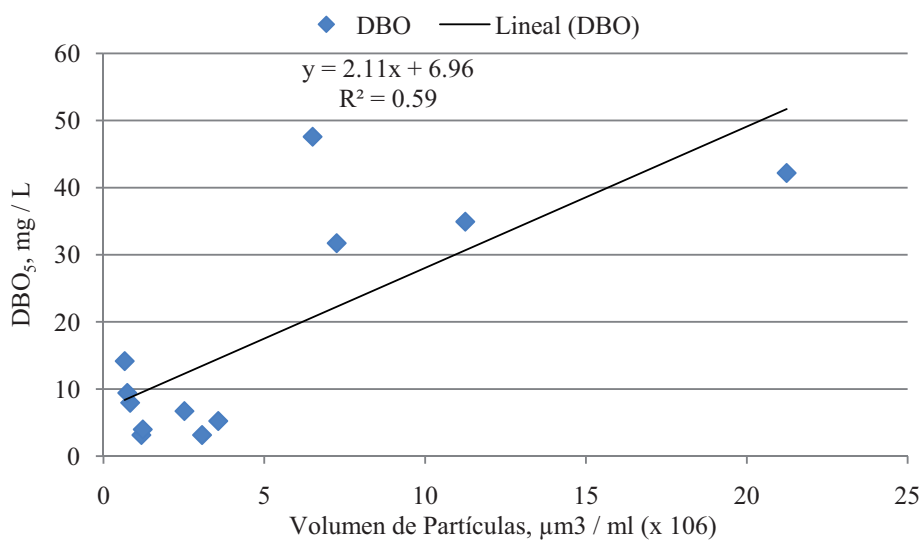
Las relaciones obtenidas para la DBO<sub>5</sub> se observan en la **Figura 6.30**, **Figura 6.31** y **Figura 6.32**. De las cuales se obtuvo para lodos activados la ecuación (26) con un R<sup>2</sup> de 0.66 (**Figura 6.30**) para determinar un contenido de la DBO<sub>5</sub> entre 1 a 48 mg/L, para discos biológicos la ecuación (27) con un R<sup>2</sup> de 0.59 para un contenido entre 8 a 52 mg/L (**Figura 6.31**) y para el filtro rociador la ecuación (28) con un R<sup>2</sup> de 0.58 para un contenido entre 11 a 70 mg/L (**Figura 6.32**), ninguna de éstas tiene aplicabilidad práctica.



**Figura 6.30** Relación entre el volumen de partículas y la  $\text{DBO}_t$  en el efluente del proceso de lodos activados

Lodos activados

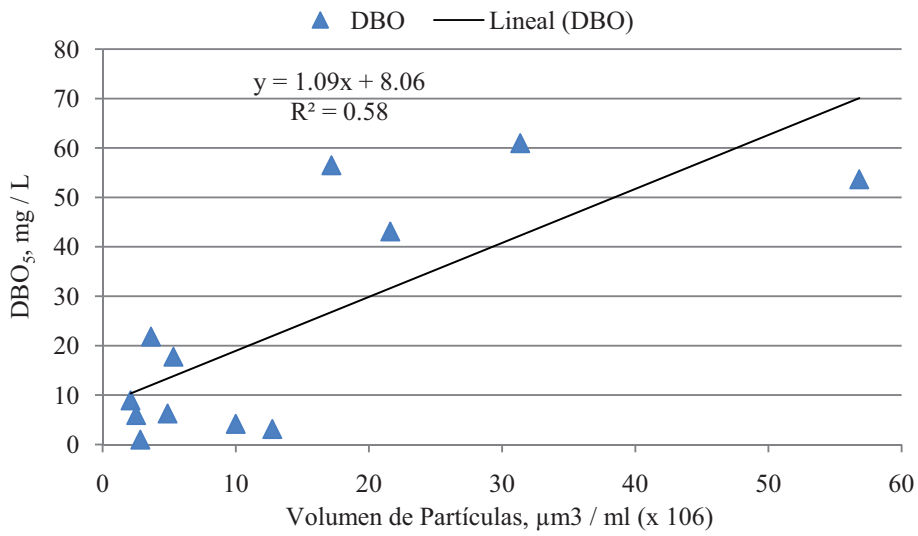
$$\text{DBO}_5 \text{ (mg/L)} = 2.7 \times \text{volumen de partículas (}\mu\text{m}^3 / \text{ml)} - 2.3, \quad R^2 \text{ de } 0.66 \quad (26)$$



**Figura 6.31** Relación entre el volumen de partículas y la  $\text{DBO}_t$  en el efluente del proceso de discos biológicos

Discos biológicos

$$\text{DBO}_3 \text{ (mg/L)} = 2.1 \times \text{volumen de partículas (}\mu\text{m}^3 / \text{ml)} + 6.9, \quad R^2 \text{ de } 0.59 \quad (27)$$



**Figura 6.32** Relación entre el volumen de partículas y la DBO<sub>t</sub> en el efluente del proceso del filtro rociador

Filtro rociador

$$DBO_5 \text{ (mg/L)} = 1.1 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) + 8, \quad R^2 \text{ de } 0.58 \quad (28)$$

Para los discos biológicos se obtuvieron las relaciones que pueden ser empleadas para determinar la concentración de cinco de los siete parámetros analizados, siendo este el proceso que presenta el mejor desempeño. Con esto se determina que mientras el proceso sea más eficiente más precisa será la determinación de tamaño de partículas, lo cual llevará a una mayor aplicabilidad de las ecuaciones.

## 6.3 EFLUENTE FILTRADO

### 6.3.1 Parámetros físicos y químicos

En el efluente filtrado se determinó que el porcentaje de remoción en promedio para el NH<sub>3</sub>-N, el PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, la turbiedad y para el color aparente fue del 99%, la DQO<sub>t</sub> de 96%, la DBO<sub>5</sub> del 90% y para los SST del 86%.

En la **Tabla 6.8** se muestran los valores obtenidos para cada uno de los parámetros básicos. En éstos se observa que el efluente del tratamiento terciario cumple con los valores de los parámetros establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997 que son de 30 mg/L de DBO<sub>5</sub> y SST para contacto indirecto u ocasional y con lo cual se establece que el agua usada para riego de las áreas verdes del *campus* universitario no excede los límites en cuanto a estos parámetros.

**Tabla 6.8** Contenido de los parámetros tradicionales en el efluente filtrado

Parámetro	Filtración		NOM-003-SEMARNAT-1997
	$\bar{x}$	$\pm \sigma_x$	
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	21	$\pm 4.6$	30
DQO (mg/l)	22	$\pm 3.0$	
SST (mg/l)	25	$\pm 4.9$	30
NH <sub>3</sub> -N (mg/l)	0.06	$\pm 0.07$	
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/l)	0.4	$\pm 0.1$	
Turbiedad (NTU)	0.7	$\pm 0.5$	
Color Aparente (PtCo)	16	$\pm 5.1$	
pH	7.3	$\pm (0.1$	
Temperatura (°C)	21.4	$\pm (0.5)$	
Conductividad (μS/cm)	856	$\pm (27)$	

*6.3.2 Determinación del número y volumen de partículas en el efluente filtrado*

El intervalo de análisis para el efluente filtrado fue de 1 – 39 μm. De manera similar que para el influente y los efluentes secundarios el 99% de las partículas en número se encuentran distribuidas en el intervalo de partículas de 1 – 11 μm. Se determinó un total 270x10<sup>3</sup> μm<sup>3</sup>/mL (Tabla 6.9) en promedio, con lo cual el porcentaje de remoción tanto en número como en volumen de partículas fue del 99% o 3 U log.

**Tabla 6.9** Valores obtenidos de las distribuciones de tamaño de partículas en el efluente filtrado

	Efluente filtrado (x10 <sup>3</sup> )		% remoción
	$\bar{x}$	$\pm \sigma_x$	
No. de partículas (Número / mL)	23.85	$\pm 23$	99
Vol. de partículas (μm <sup>3</sup> / mL)	270.1	$\pm 100$	99

*6.3.3 Tamaño de partículas en número y volumen por intervalo*

Con la distribución de tamaños de partículas promedio para el efluente filtrado se determinó que las partículas en volumen se encuentran distribuidas de la siguiente manera: el 46% en el intervalo de 1 – 11 μm, el 25% en el intervalo de partículas de 11 – 20 μm y el 29% en partículas mayores a los 20 μm. En la Figura 6.33 y Figura 6.34, se muestran las distribuciones de partículas promedio en número y en volumen respectivamente.

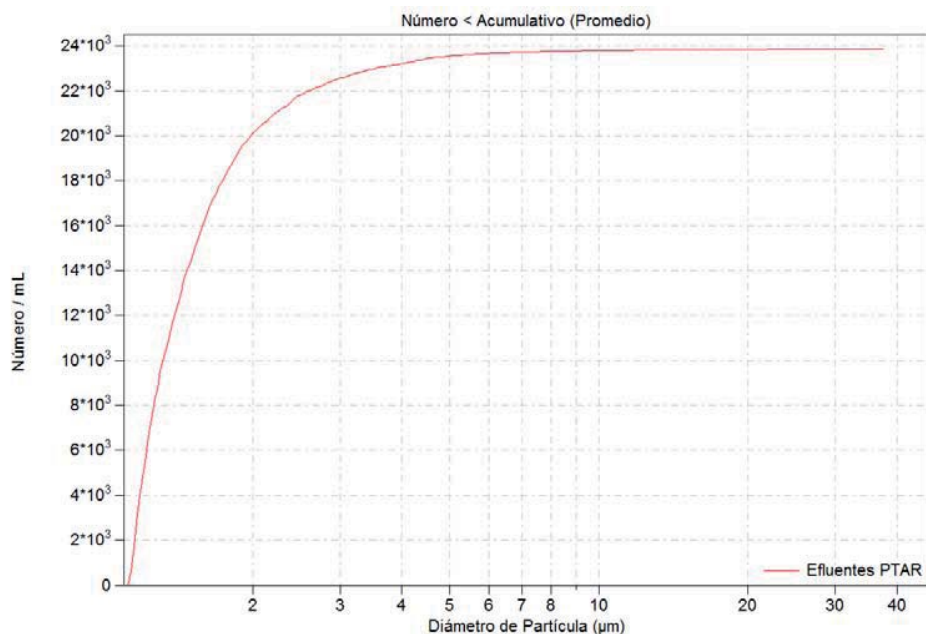


Figura 6.33 Distribución acumulada de tamaño de partículas en número del efluente filtrado

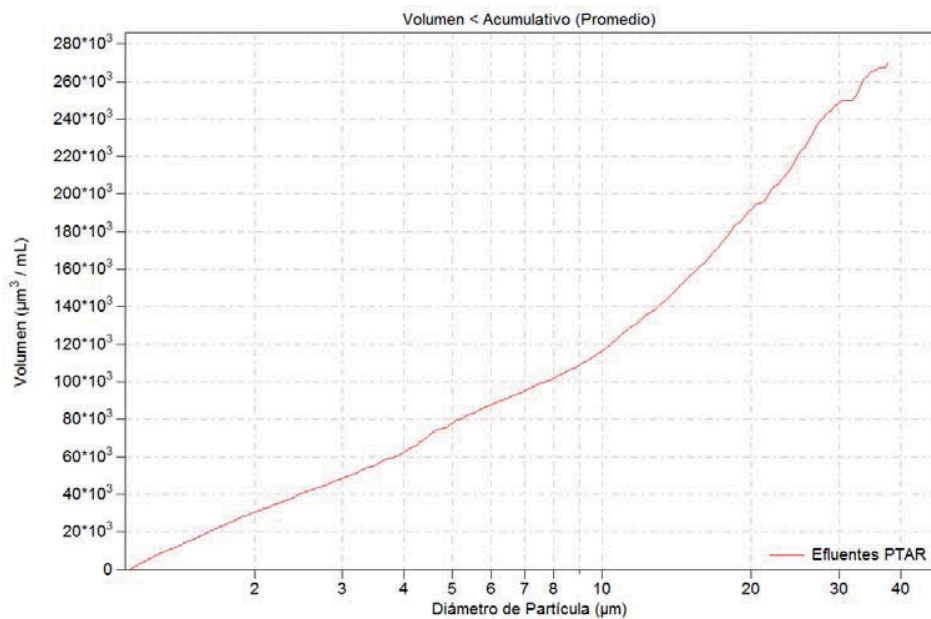


Figura 6.34 Distribución acumulada de tamaño de partículas en volumen del efluente filtrado

6.3.4 Distribución de los contaminantes con relación al tamaño

La distribución de los parámetros analizados en los cuatro intervalos de tamaño de estudio para el efluente filtrado se muestra en la **Tabla 6.10**. De ella se desprende que la materia orgánica (DBO<sub>5</sub> y DQO<sub>t</sub>) se encuentra distribuida de manera similar en los cuatro intervalos estudiados, lo que implica una reducción de su concentración en el intervalo de partículas <11 μm en relación con los efluentes secundarios. El mayor porcentaje de los SST, NH<sub>3</sub>-N y el color aparente se encuentra en el intervalo de partículas > 80μm (entre el 33 – 47 %), caso similar al de los SST del efluente secundario; pero para el NH<sub>3</sub>-N y el color aparente hay una reducción importante en la concentración del intervalo de partículas <11 μm. Hasta un 62% del PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> y la turbiedad se encontró mayormente distribuido en el intervalo de partículas < 11 μm como se determinó para los efluentes secundarios.

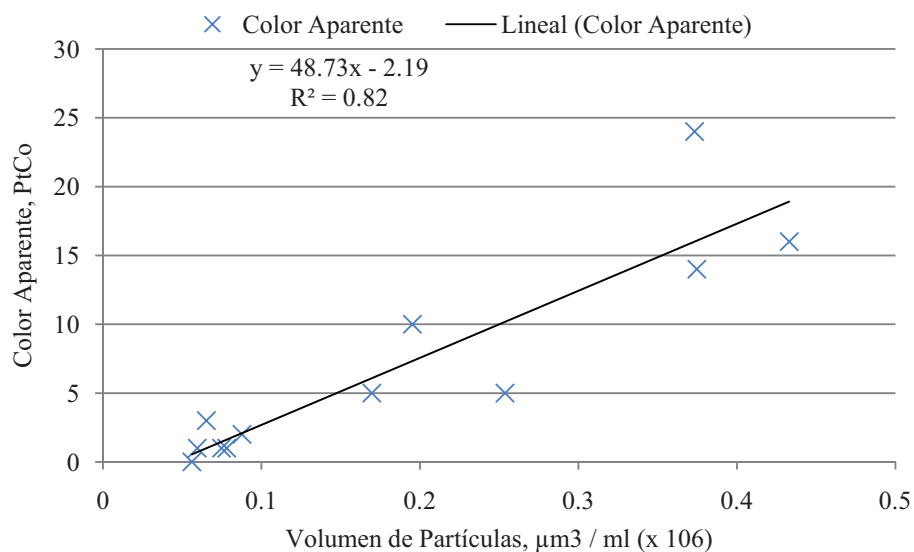
**Tabla 6.10** Distribución promedio de los parámetros analizados en el efluente filtrado

Parámetros	Intervalos de tamaños				Total
	<11 μm	11-20 μm	20-80 μm	>80 μm	
DBO <sub>5</sub> mg/l (%)	5.4 (25)	5.6 (23)	4.3 (20)	6.3 (32)	21.6 (100)
DQO <sub>t</sub> mg/l (%)	6.5 (25)	5.2 (24)	3.4 (16)	7.2 (35)	22.3 (100)
SST mg/l (%)	4.5 (18)	6.5 (25)	4.5 (18)	10 (39)	25.5 (100)
NH <sub>3</sub> -N mg/l (%)	0.01 (18)	0.00 (0.0)	0.01 (18)	0.04 (33)	0.06 (100)
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> mg/l (%)	0.25 (62)	0.03 (6.0)	0.08 (19)	0.05 (12)	0.41 (100)
Turbiedad NTU (%)	0.37 (46)	0.14 (18)	0.05 (6.0)	0.24 (30)	0.80 (100)
Color aparente PtCo (%)	4.0 (25)	1.8 (11)	2.8 (17)	7.5 (47)	16 (100)

6.3.5 Relación entre los parámetros tradicionales y el volumen de partículas del efluente filtrado

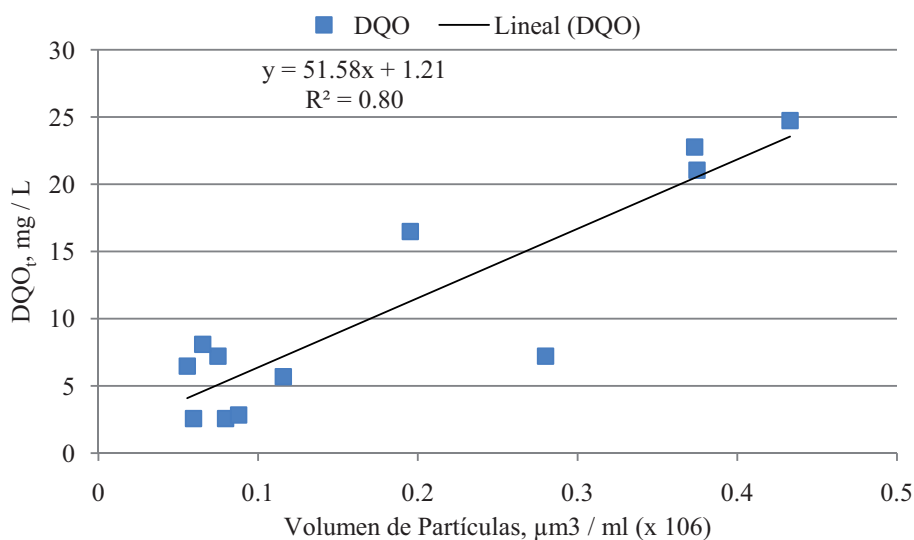
6.3.5.1 Color aparente, DQO<sub>t</sub> y volumen de partículas

Con los valores obtenidos del color aparente y DQO<sub>t</sub> en los diferentes intervalos de tamaños analizados y el volumen de las partículas determinado se obtuvieron las ecuaciones que establecen las relaciones representadas por la ecuación (29) con una R<sup>2</sup> de 0.82 para determinar un contenido de color aparente entre 0.5 a 18 PtCo (**Figura 6.35**) y la ecuación (30) con una R<sup>2</sup> de 0.80 para un contenido de DQO<sub>t</sub> entre 4 y 24 mg/L (**Figura 6.36**).



**Figura 6.35** Relación entre el volumen de partículas y el color aparente en el efluente filtrado

$$\text{Color Aparente (PtCo)} = 48.7 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) - 2.1, \quad R^2 \text{ de } 0.82 \quad (29)$$



**Figura 6.36** Relación entre el volumen de partículas y la DQO<sub>t</sub> en el efluente filtrado

$$DQO_t \text{ (mg/L)} = 51.5 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) + 1.2, \quad R^2 \text{ de } 0.8 \quad (30)$$

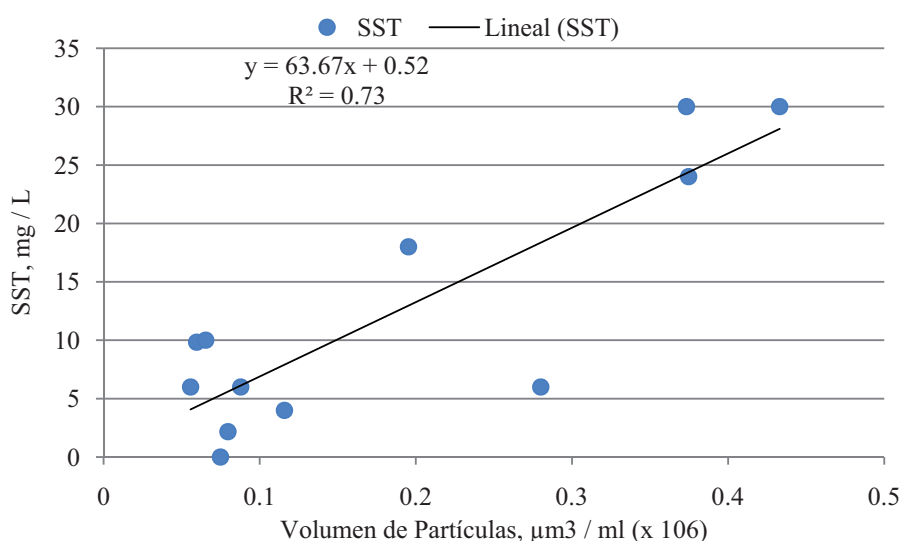
Con estas relaciones, se tiene la ventaja al emplear la distribución del volumen de partículas para la determinación del color aparente y DQO<sub>t</sub> de manera indirecta y práctica, así como la reducción del tiempo de respuesta de varias horas a sólo algunos minutos.



Los siguientes apartados, presentan las correlaciones determinadas para los SST, turbiedad,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{DBO}_5$ , del efluente filtrado, sin embargo por su coeficiente de correlación obtenido  $< 0.8$  tienen poca utilidad práctica.

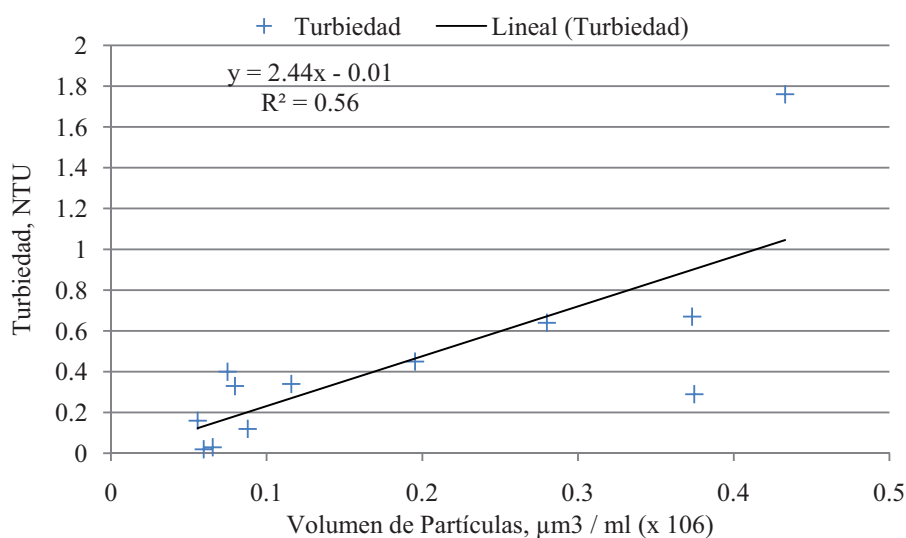
### 6.3.5.2 SST, turbiedad y volumen de partículas

Con los valores obtenidos de los SST y la turbiedad en los diferentes intervalos de tamaños analizados y el volumen de las partículas determinado se tienen las ecuaciones (31) con una  $R^2$  de 0.73 establecida para un contenido de SST entre 4 a 28 mg/L (Figura 6.37) y la ecuación (32) con una  $R^2$  de 0.56 para un contenido de turbiedad entre 0.13 a 1.05 NTU (Figura 6.38).



**Figura 6.37** Relación entre el volumen de partículas y los SST en el efluente filtrado

$$SST \text{ (mg/L)} = 63.6 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) + 0.5, \quad R^2 \text{ de } 0.73 \quad (31)$$

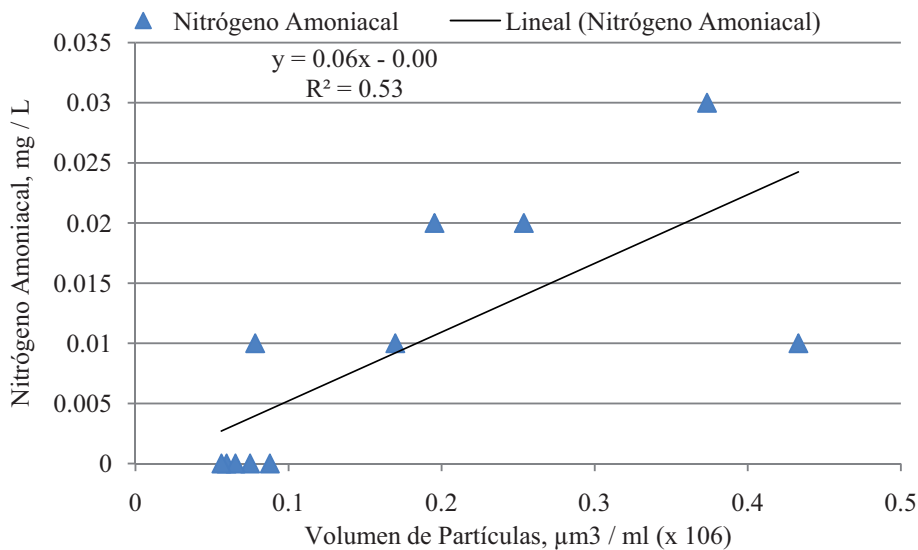


**Figura 6.38** Relación entre el volumen de partículas y la turbiedad en el efluente filtrado

$$\text{Turbiedad (NTU)} = 2.4 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}) - 0.01, \quad R^2 \text{ de } 0.56 \quad (32)$$

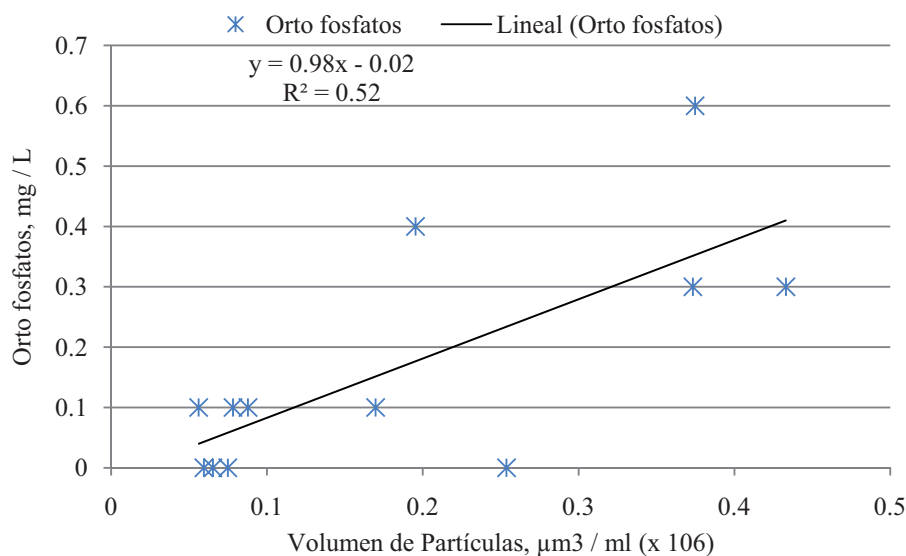
### 6.3.5.3 NH<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, DBO<sub>5</sub> y volumen de partículas

Con los valores determinados del NH<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> y DBO<sub>5</sub> en los diferentes intervalos de tamaños analizados y el volumen de las partículas se obtuvieron las ecuaciones (33) con una R<sup>2</sup> de 0.53 para determinar un contenido de NH<sub>3</sub>-N entre 0.003 a 0.024 mg/L (Figura 6.39), la ecuación (34) con una R<sup>2</sup> de 0.52 para el contenido de PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> desde 0.04 a 0.41 mg/L (Figura 6.40) y la ecuación (35) con una R<sup>2</sup> de 0.41 para un contenido de DBO<sub>5</sub> entre 6 a 22 mg/L (Figura 6.41).



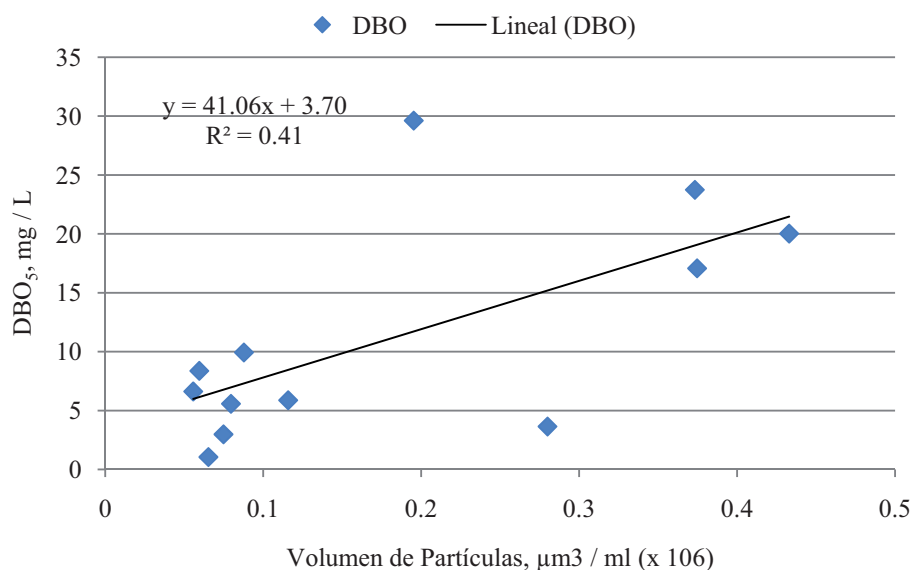
**Figura 6.39** Relación entre el volumen de partículas y el NH<sub>3</sub>-N en el efluente filtrado

$$N \text{ amoniacal (mg/L)} = 0.06 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3 / \text{ml}), \quad R^2 \text{ de } 0.53 \quad (33)$$



**Figura 6.40** Relación entre el volumen de partículas y el PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> en el efluente filtrado

$$\text{Ortofosfatos (mg/L)} = 0.98 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3/\text{ml}) - 0.02, \quad R^2 \text{ de } 0.52 \quad (34)$$



**Figura 6.41** Relación entre el volumen de partículas y la DBO<sub>5</sub> en el efluente filtrado

$$\text{DBO}_5 \text{ (mg/L)} = 41 \times \text{volumen de partículas } (\mu\text{m}^3/\text{ml}) + 3.7, \quad R^2 \text{ de } 0.41 \quad (35)$$

La caracterización de las aguas residuales y tratadas obtenidas en este estudio a través del tamaño de partículas y de los parámetros tradicionales puede interpretarse como buen indicador de la composición promedio de estas aguas.



## 7. CONCLUSIONES

---

El uso de las distribuciones de tamaño de partículas en volumen permite establecer relaciones con los parámetros tradicionales en un intervalo mayor de aplicación, ya que existe mayor proporcionalidad entre ambos que entre los parámetros y la distribución en número.

En el influente el número de partículas promedio fue de  $50 \times 10^6$  Número /mL que ocupan un volumen de  $207 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{mL}$ , lo cual corresponde a tener 7.7 y 8.3 unidades logarítmicas (U log) respectivamente.

Se determinó el desempeño de los procesos biológicos de la PTAR CU por medio del volumen de partícula. Así, el volumen de partículas en los efluentes biológicos presentó para los discos biológicos  $12 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{mL}$  (remoción del 94% ó 1.2 U log), los lodos activados  $15 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{mL}$  (remoción del 92% ó 1.1 U log) y el filtro rociador con  $29 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{mL}$  (remoción del 86% ó 0.8 U log). Lo que implica que los discos biológicos tuvieron un mejor desempeño seguido de los lodos activados y finalmente el filtro rociador.

La remoción obtenida para los parámetros básicos para los procesos de tipo biológico tuvo los siguientes intervalos: para la turbiedad fue entre 94 y 97%, color aparente entre 87 y 94%,  $\text{DQO}_t$  entre 85 y 93%,  $\text{PO}_4^{-3}$  entre 83 y 89%,  $\text{NH}_3\text{-N}$  entre 76 y 89%,  $\text{DBO}_5$  entre 78 y 84% y SST entre 76 y 79%. Remociones que dependen de los efluentes de cada proceso.

El proceso de filtración (tratamiento terciario) mejora la calidad del agua al reducir la distribución de tamaño de partículas hasta  $23 \times 10^3$  Número/mL y con un volumen correspondiente de  $270 \times 10^3 \mu\text{m}^3/\text{mL}$ , lo que en términos generales muestra que la remoción total (tratamientos secundario y terciario) fue de 3.3 y 3.0 U log en número y volumen respectivamente, es decir un 99% de remoción. La remoción realizada únicamente por la filtración fue de 1.8 y 1.9 U log en número y volumen respecto a los efluentes secundarios, donde las partículas que mayormente se remueven son las comprendidas en el intervalo de 1 – 11  $\mu\text{m}$ .

Las relaciones obtenidas con la distribución de volumen de partículas y los parámetros tradicionales en el influente, efluentes secundarios y el efluente de la filtración de la PTAR CU son confiables con valores mayores del 80%, lo cual permite determinar los parámetros de manera indirecta y con un tiempo de respuesta de sólo algunos minutos.

Se mostró que existen relaciones lineales entre el volumen de partículas y el contenido de los parámetros tradicionales, aunque tales relaciones determinadas sólo son válidas para cada proceso en particular. Con base en esto se estableció lo siguiente:

### a) Influyente

Las relaciones obtenidas con una aplicación práctica quedan de la siguiente manera: color aparente ( $R^2 = 0.89$ ) >  $\text{DBO}_5$  ( $R^2 = 0.87$ ) >  $\text{DQO}_t$  ( $R^2 = 0.84$ ). Las relaciones determinadas para el  $\text{NH}_3\text{-N}$ , Turbiedad,  $\text{PO}_4^{-3}$  y SST mostraron un  $R^2 < 0.8$ .

### b) Efluentes secundarios

En el efluente de los discos biológicos se obtuvieron las mejores relaciones para la turbiedad y el color aparente ( $R^2 = 0.94$ ), seguidas de las relaciones para el  $\text{NH}_3\text{-N}$  ( $R^2 = 0.88$ ), el  $\text{PO}_4^{-3}$  ( $R^2 = 0.82$ ) y la  $\text{DQO}_t$  ( $R^2 = 0.81$ ). Para los SST y la  $\text{DBO}_5$  las relaciones encontradas son de un  $R^2 < 0.8$ .

En el efluente de los lodos activados se muestran las mejores relaciones para los parámetros de color aparente y SST ( $R^2 = 0.86$ ), en cuanto a la  $\text{DQO}_t$ , el  $\text{NH}_3\text{-N}$ , la turbiedad, la  $\text{DBO}_5$  y el  $\text{PO}_4^{-3}$  las relaciones son de un  $R^2 < 0.8$ .

Para el efluente proveniente del filtro rociador se encontró que las mejores relaciones se obtuvieron con el contenido de  $\text{PO}_4^{-3}$  ( $R^2 = 0.83$ ) y  $\text{NH}_3\text{-N}$  ( $R^2 = 0.80$ ). Para color aparente, SST, turbiedad,  $\text{DQO}_t$  y para la  $\text{DBO}_5$  el coeficiente de correlación fue  $< 0.8$ .

Para los discos biológicos se obtuvieron las relaciones que pueden ser empleadas para determinar la concentración de cinco de los siete parámetros analizados, siendo este el proceso que presenta el mejor desempeño. Con esto se determina que mientras el proceso sea más eficiente más precisa será la determinación de tamaño de partículas, lo cual llevará a una mayor aplicabilidad de las ecuaciones.

### c) Efluente filtrado

Para el efluente del tratamiento terciario las relaciones que tuvieron aplicabilidad mostraron el orden siguiente: color aparente ( $R^2 = 0.82$ )  $>$   $\text{DQO}_t$  ( $R^2 = 0.80$ ). Por otro lado, las relaciones determinadas para los parámetros  $\text{DBO}_5$ ,  $\text{NH}_3\text{-N}$ , Turbiedad,  $\text{PO}_4^{-3}$  y SST presentan un  $R^2 < 0.8$  por lo que no es buena su aplicación.

Con base en lo anterior se dictaminó que el efluente filtrado de la PTAR CU cumple con el valor de los parámetros establecidos en la NOM-003-ECOL-1997 (30 mg/L para  $\text{DBO}_5$  y SST), que corresponde a tener un valor promedio de partículas de  $50 \times 10^6$  Número/mL y que ocupan un volumen de  $207 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{mL}$ , las cuales se encuentran distribuidas en el intervalo de diámetro de partículas que va desde 1 hasta 39  $\mu\text{m}$ .

Las concentraciones y relaciones entre los contaminantes y la distribución de partículas son específicas de las aguas estudiadas, ya que las aguas residuales se ven influenciadas por situaciones locales y por las condiciones climatológicas y las aguas tratadas por el proceso a que son sometidas.

La remoción de partículas como función del tamaño de partículas representa una excelente herramienta para monitoreo y diseño, pero es necesario que los estudios trabajen con mediciones estandarizadas para introducir la distribución de tamaños de partículas como un parámetro de caracterización habitual.

Una parte importante de la materia orgánica, sólidos, nutrientes, turbiedad y color se encuentran en la fracción particulada de las aguas residuales. Se requiere también del estudio de la fracción coloidal y soluble para una caracterización más completa de los constituyentes físicos y químicos básicos, así como la distribución del tamaño de partículas en las aguas residuales y tratadas es de gran utilidad para la determinación de su calidad.

## 8. REFERENCIAS

---

Adin A. (1999). **Particle Characteristics: a Key Factor in Effluent Treatment and Reuse.** *Wat. Sci. Tech.*, **40** (4-5), 67-74.

Aguilar M.I., Sáez J., Lloréns M., Soler A., and Ortuño J.F. (2003). **Microscopic Observation of Particle Reduction in Slaughterhouse Wastewater by Coagulation–Flocculation Using Ferric Sulphate as Coagulant and Different Coagulant Aids.** *Water Research*, **37**, 2233–2241.

Ahn K.-H. and Song K.-G. (1999). **Treatment of Domestic Wastewater Using Microfiltration for Reuse of Wastewater.** *Desalination*, **126**, 7-14.

Allen, T. (2003). **Powder Sampling and Particle Size Determination.** *Elsevier B.V.*, 1<sup>st</sup> Edition, Netherlands, p-682.

Amuda O. S. and Alade A. (2006). **Coagulation / Flocculation Process in the Treatment of Abattoir Wastewater.** *Desalination*, **196**, 22–31.

APHA, AWWA and WEF. (2005). **Standard Methods. For the Examination of Water and Wastewater.** Edited by Leonore S. Clesceri, Eugene W. Rice, Arnold E. Greenberg and Andrew D. Eaton. 21<sup>TH</sup> Edition, USA, p-1368.

Azema N., Pouet M.-F., Berho C. and Thomas O. (2002). **Wastewater Suspended Solids Study by Optical Methods.** *Colloids and Surfaces. A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **204**, 131–140.

Behling E., Weffer G. and Marin J. (2005). **Tratamiento de un Efluente Sintético de Glucosa y Fenol en un Reactor Biológico Rotativo de Contacto.** *Bol. Centro Invest. Biol.*, **39** (3), 277-292.

Boller M. (1993). **Removal of Organic Matter by Physico-Chemical Mechanisms in Wastewater Treatment Plants.** *Water Science and Technology*, **27** (11), 167-183.

Boller M. and Blaser S. (1998). **Particles Under Stress.** *Water Science and Technology*, **37** (10), 9-29.

Broadwell, M. (2001). **A Particle Guide to Particle Counting for Drinking Water Treatment.** Lewis Publishers, 1<sup>st</sup> Edition, CRC Press LLC., p-240.

CE-CCA-001/89. **Acuerdo por el que se Establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua.**

- Chávez A. (2004). **Optimización del Tratamiento Primario Avanzado Vía Distribución de Tamaño de Partícula**. *Tesis Doctoral*, Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, UNAM, p.162.
- Chebbo, G. and Bachoc, A. (1992). **Characterization of Suspended Solids in Urban Wet Weather Discharges**. *Water Science and Technology*, **25** (8), 171-179.
- Cripps S. (1995). **Serial Particle Size Fractionation and Characterization of an Aquacultural Effluent**". *Aquaculture*, 133, 323-339.
- Drewes, J., Ingels T., Yates G., Beierle A., Crittenden R. and Jones V. (2007). **Optimizing Filtration Processes Through Online Floc Particle Characterization**. AWWA Research Foundation, p-126.
- Dulekgurgen E., Dogruel S., Karahan Ö. and Orhon D. (2006). **Size Distribution of Wastewater COD Fractions as an Index for Biodegradability**. *Water Research*, 40, 273–282.
- García J. (2007). **Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cerro del Agua**. *Dirección General de Obras y Conservación, Dirección de Conservación, Coordinación de Servicios Electromecánicos*, UNAM. p.70.
- Gillberg L., Eger L. and Jespen S.-E. (1990). **The Effect for Five Coagulants on the Concentration and Distribution of Small Particles in Sewage Water**. *Chemical Water and Wastewater Treatment II*. 243-256.
- HACH (2003). **HACH Water Analysis Handbook**. *HACH Company*. 4<sup>TH</sup> Edition, Revision 2, USA, p-1260 .
- Hargesheimer E., Mctigue E. and Lewis C. (2000). **Fundamentals of Drinking Water Particle Counting**. Subject Area: Monitoring and Analysis. *AWWA Research Foundation*, p-290.
- Hargesheimer E., Lewis C. and Yentsch C. (1992). **Evaluation of Particle Counting as a Measure of Treatment Plant Performance**. *AWWA Research Foundation and American Water Works Association*, p-319.
- Kobler D. and Boller M. (1997). **Particle Removal in Different Filtration Systems for Tertiary Wastewater Treatment - a Comparison**. *Water Science and Technology*, **36** (4), 259-267.
- Landa H., Capella A. and Jiménez B. (1997). **Particle Size Distributions in an Effluent from an Advanced Primary Treatment and its Removal During Filtration**. *Water Science and Technology*, **36** (4), 159-165.



- Lartiges B., Deneux-Mustin S., Villemin G., Mustin C., Barres O., Chamerois M., Gererd B. and Babut M. (2001). **Composition, Structure and Size Distribution of Suspended Particulates from Rhine River.** *Wat. Res.*, **35** (3), 808-816.
- Lawler, D. (1997). **Particle Size Distributions in Treatment Processes: Theory and Practice.** *Water Science and Technology*, **36** (4), 15-23.
- Levine A., Tchobanoglous G. and Asano T. (1985). **Characterization of the Size Distribution of Contaminants in Wastewater: Treatment and Reuse Implications.** *Journal WPCF*, **57** (7), 805-816.
- Levine A., Tchobanoglous G. and Asano T. (1991). **Particle Contaminants in Wastewater: a Comparison of Measurement Techniques and Reported Particle Size Distributions.** *Fluid and Particle Separation Journal*, **4** (2), 88-106.
- Li X. and Logan B. (1995). **Size Distribution and Fractal Properties of Particles During a Simulated Phytoplankton Bloom in a Mesocosm.** *Deep-Sea Research*, **42** (1), 125-138.
- Mackie R. and Bai R. (1992). **Suspended Particle Size Distribution and the Performance of Deep Bed Filters.** *Wat. Res.*, **26** (12), 1571-1575.
- Marquet R., Mietton-Peuchot M. and Wheatley A. (1999). **Characterization of Trickling Filter Effluent by Particle Size Distribution and High Performance Size Exclusion Chromatography.** *Wat. Res.*, **33** (6), 1415-1424.
- Martinen S., Kettunenb R. and Rintala J. (2003). **Occurrence and Removal of Organic Pollutants in Sewages and Landfill Leachates.** *The Science of the Total Environment* 301, 1-12.
- Masuda H., Higashitani K. and Yoshida H. (2006). **Powder Technology Handbook.** 3rd. Edition. Boca Raton, Florida: CRC / Taylor & Francis, p-920.
- Menezes F., Areal R. and Luketina D. (1996). **Removal of Particles Using Coagulation and Flocculation in a Dynamic Separator.** *Powder Technology*, **88**, 27-31.
- Metcalf and Eddy (2003). **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.** 4<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill International Editions, p 1848.
- Naddeo V. and Belgiorno V. (2007). **Tertiary Filtration in Small Wastewater Treatment Plants.** *Water Science & Technology*, IWA Publishing, **55** (7), 219-225.
- Neis, U. and Tiehm, A. (1997). **Particle Size Analysis in Primary and Secondary Wastewater Effluents.** *Water Science and Technology*, **36** (4), 151-158.
- Nieuwenhuijzen A. and Mels A. (2002). **Characterization of Particulate Matter in Municipal Wastewater.** *Chemical Water and Wastewater Treatment VII*, 203-212.

Nieuwenhuijzen A., Van der Graaf J., Kampschreur M. and Mels A. (2004). **Particle Related Fractionation and Characterization of Municipal Wastewater**. *Water Science and Technology*, IWA Publishing, **50** (12), 125–132.

NMX-AA-003-1980. **Aguas Residuales. – Muestreo.**

NMX-AA-007-SCFI-2000. **Análisis de Agua - Determinación de la Temperatura en aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba.**

NMX-AA-008-SCFI-2000. **Análisis de Agua - Determinación del pH - Método de Prueba.**

NMX-AA-012-SCFI-2001. **Análisis de Agua - Determinación de Oxígeno Disuelto en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba.**

NMX-AA-026-SCFI-2001. **Análisis de Agua - Determinación de Nitrógeno Total Kjeldahl en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba.**

NMX-AA-028-SCFI-2001. **Análisis de Agua - Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en Aguas Naturales, Residuales (DBO<sub>5</sub>) y Residuales Tratadas - Método de Prueba.**

NMX-AA-029-SCFI-2001. **Análisis de Aguas - Determinación de Fósforo Total en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba.**

NMX-AA-030-SCFI-2001. **Análisis de Agua - Determinación de la Demanda Química de Oxígeno en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba.**

NMX-AA-034-SCFI-2001. **Análisis de Agua - Determinación de Sólidos y Sales Disueltas en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba.**

NMX-AA-038-SCFI-2001. **Análisis de Agua - Determinación de Turbiedad en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba.**

NMX-AA-045-SCFI-2001. **Análisis de Agua - Determinación de Color Platino Cobalto en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba.**

NMX-AA-093-SCFI-2000. **Análisis de Agua - Determinación de la Conductividad Electrolítica - Método de Prueba.**

NOM-001-SEMARNAT-1996. **Que Establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales.**

NOM-002-SEMARNAT-1996. **Que Establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales a los Sistemas de Alcantarillado Urbano o Municipal.**

NOM-003-SEMARNAT-1997. **Que Establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes para las Aguas Residuales Tratadas que se Reúsen en Servicios al Público.**

Noyola A. (1992). **Tratamiento de Aguas Residuales.** *Reunión Anual: Programa Universitario del Medio Ambiente*, Instituto de Ingeniería, UNAM. **1** (21), p-10.

Odegaard H. (1995). **Optimization of Flocculation / Flotation in Chemical Wastewater Treatment.** *Water Science and Technology*, **31** (3), 73-82.

O'Shaughnessy P., Barsotti M., Fay J. and Tighe S. (1997). **Evaluating Particle Counters.** *Journal AWWA*, **89** (12), 60-70.

Wiesner M. and Mazounie P. (1989). **Raw Water Characteristics and the Selection of Treatment Configurations for Particle Removal.** *Journal AWWA*, **81** (5), 80-89.

Richardson J., Harker J. and Backhurst J. (2002). **Particle Technology and Separation Processes.** 5th Edition. Oxford: Butterworth Heinemann, p-1229.

Rhodes M. (1998). **Introduction to Particle Technology.** John Wiley & Sons, 1<sup>st</sup> Edition, Chichester, New York, p-336.

Sansalone J. and Buchberger G. (1997). **Characterization of Solid and Metal Element Distributions in Urban Highway Storm Water.** *Water Science and Technology*, **36** (8-9), 155 – 160.

Sansalone J. and Kim J.-Y. (2008). **Suspended Particle Destabilization in Retained Urban Storm Water as a Function of Coagulant Dosage and Redox Conditions.** *Water Res.*, **42** (4-5), 909-922.

Schubert W. and Günthert F. (2001). **Particle Size Distribution in Effluent of Trickling Filters and in Humus Tanks.** *Wat. Res.*, **35** (16), 3993–3997.

Sophonsiri C. and Morgenroth E. (2004). **Chemical Composition Associated with Different Particle Size Fractions in Municipal, Industrial, and Agricultural Wastewaters.** *Chemosphere* **55**, 691–703.

Soto J. (1983). **Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales y su Aplicación en la Planta de CU.** *Tesis Licenciatura*, Facultad de Ingeniería, UNAM, p-69.

Tchobanoglous G., Darby J., Bourgeois K., McArdle J., Genest P. and Tylla M. (1998). **Ultrafiltration as an Advanced Tertiary Treatment Process for Municipal Wastewater.** *Desalination* **119**, 315-322.

Thiehm A., Herwing V. and Neis U. (1999). **Particle Size Analysis for Improved Sedimentation and Filtration in Wastewater Treatment.** *Water Science and Technology*, **39** (8), 67-74.

Vlaski A., Breemen A. and Alaerts G. (1997). **The Role of Particle Size and Density in Dissolved Air Flotation and Sedimentation.** *Water Science and Technology*, **36** (4), 177-189.

Wilén B.-M. and Balmér P. (1999). **The Effect of Dissolved Oxygen Concentration on the Structure, Size and Size Distribution of Activated Sludge Flocs.** *Wat. Res*, **33** (2), 391-400.

Xu G., Zhang Y. and Gregory J. (2006). **Different Pollutants Removal Efficiencies and Pollutants Distribution with Particle Size of Wastewater Treated by CEPT Process.** *Water Practice & Technology*, IWA Publishing, **1** (3), wpt.2006.0048.

**Manual de Operación PN 8321681 Rev. B Coulter Multisizer 3<sup>TM</sup>.**

# NOMENCLATURA

---

<b>AFNOR</b>	Asociación Francesa de Normalización
<b>APHA</b>	American Public Health Association
<b>ARC</b>	Agua residual cruda
<b>ART</b>	Agua residual tratada
<b>ASTM</b>	American Society for Testing Materials
<b>AWWA</b>	American Water Works Association
<b>BS</b>	British Standards
<b>BSI</b>	British Standards Institution
<b>CFFF</b>	Centrifugal Field Flow Fractionation
<b>CONAGUA</b>	Comisión Nacional del Agua
<b>CSIRO</b>	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días
<b>DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>d</b>	DBO <sub>5</sub> por metro cuadrado por día
<b>DIN</b>	Deutsches Institut für Normung
<b>DQOt</b>	Demanda Química de Oxígeno total
<b>DTP</b>	Distribución de Tamaño de Partícula
<b>Efl</b>	Efluente
<b>FR</b>	Filtros rociadores
<b>JSA</b>	Japanese Standards Association
<b>JIS</b>	Japanese Industrial Standards
<b>h</b>	Horas
<b>HACH</b>	Compañía que implementa análisis y pruebas para medir la calidad del agua
<b>HH/L</b>	Huevos de helminto por litro
<b>Inf</b>	Influyente
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization

<b>ISO/WD</b>	(Working Draft)
<b>L/s</b>	Litros por segundo
<b>LA</b>	Lodos activados
<b>LFM</b>	Lateral Force Microscopy
<b>M</b>	Muestreo (M1= muestreo 1, M2 = muestreo 2, etc.)
<b>MFFF</b>	Magnetic Field Flow Fractionation
<b>MFM</b>	Magnetic Force Microscope
<b>m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d</b>	Metros cúbicos por metro cuadrado por día
<b>m<sup>3</sup> / s</b>	Metros cúbicos por segundo
<b>mg / L</b>	Miligramos por litro
<b>min</b>	Minutos
<b>ml</b>	Mililitros
<b>m<sup>3</sup> / mL</b>	metros cúbicos de partículas por cada mililitro de agua residual (cruda o tratada)
<b>N.A.</b>	No aplica
<b>N.D.</b>	No disponible
<b>NF</b>	Norma Francesa
<b>Número / mL</b>	Número de partículas por cada mililitro de agua residual (cruda o tratada)
<b>NH<sub>3</sub>-N</b>	Nitrógeno amoniacal (Nomenclatura utilizada por el método HACH 8038)
<b>NMP</b>	Número más probable
<b>NMX</b>	Norma Mexicana
<b>NOM</b>	Norma Oficial Mexicana
<b>PD</b>	Promedio diario
<b>PM</b>	Promedio mensual
<b>PO<sub>4</sub><sup>-3</sup></b>	Ortofosfato
<b>PTAR CU</b>	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ciudad Universitaria
<b>PtCo</b>	Platino cobalto (unidades de color)
<b>s</b>	Segundos

---

---

<b>SD</b>	Sin dato
<b>SEM</b>	Scanning Electron Microscopy
<b>SEMARNAT</b>	Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales
<b>SFFF</b>	Sedimentation Field Flow Fractionation
<b>SS</b>	Sedimentación secundaria
<b>SSF</b>	Sólidos Suspendidos Fijos
<b>SST</b>	Sólidos Suspendidos Totales
<b>SSV</b>	Sólidos Suspendidos Volátiles
<b>STEM</b>	Scanning Transmission Electron Microscope
<b>STM</b>	Scanning Tunneling Microscope
<b>TEM</b>	Transmission Electron Microscopy
<b>TFFF</b>	Thermal Field Flow Fractionation
<b>TKN</b>	Nitrógeno Total Kjeldahl
<b>T/ ha</b>	Toneladas por hectárea
<b>TP</b>	Tamaño de partícula
<b>TPA</b>	Tratamiento primario avanzado
<b>TRH</b>	Tiempo de retención hidráulica
<b>U log</b>	Unidades logarítmicas
<b>UASB</b>	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
<b>USEPA</b>	United State Environment Protection Agency
<b>UNT</b>	Unidad nefelométrica de turbiedad
<b>WEF</b>	Water Environment Federation
<b>%</b>	Porcentaje
<b>μ</b>	Micras o micro





# ÍNDICE DE FIGURAS

---

<b>Figura 2.1</b> Número de Plantas por proceso de tratamiento de agua residual municipal (SEMARNAT, CONAGUA, 2008).....	5
<b>Figura 2.2</b> Distribución de tamaños de los contaminantes en las aguas residuales (adaptada de Levine <i>et al.</i> , 1991) .....	13
<b>Figura 4.1</b> Tamaños y técnicas de separación en las aguas residuales (adaptada de Levine <i>et al.</i> , 1991) .....	21
<b>Figura 4.2</b> Tamiz y tamaño de partícula .....	22
<b>Figura 4.3</b> Sedimentación gravitacional homogénea incremental .....	26
<b>Figura 4.4</b> Sedimentación gravitacional homogénea acumulativa .....	26
<b>Figura 4.5</b> Balance en la suspensión y balance en un líquido claro.....	27
<b>Figura 4.6</b> Sedimentación gravitacional, línea de salida, incremental.....	27
<b>Figura 4.7</b> Sedimentación gravitacional, línea de salida, acumulativa .....	27
<b>Figura 4.8</b> Sedimentación centrífuga homogénea incremental (efecto de dilución radial).....	29
<b>Figura 4.9</b> Tubos de centrífuga conoidal Berg .....	29
<b>Figura 4.10</b> Técnica de línea de salida .....	30
<b>Figura 4.11</b> Tubo especial de centrífuga MSA.....	30
<b>Figura 4.12</b> Tamaños y técnicas de medición en las aguas residuales (adaptada de Levine <i>et al.</i> , 1991) .....	33
<b>Figura 4.13</b> Principio de operación de las técnicas de medición y análisis .....	37
<b>Figura 4.14</b> Diagrama del principio de Coulter aplicado en el Multisizer 3 <sup>TM</sup> .....	39
<b>Figura 4.15</b> Paso de una partícula a través del orificio de un tubo Coulter Counter .....	40
<b>Figura 5.1</b> Ubicación de la PTAR CU.....	47
<b>Figura 5.2</b> Esquema del tratamiento con lodos activados.....	48
<b>Figura 5.3</b> Esquema del tratamiento con discos biológicos.....	49
<b>Figura 5.4</b> Esquema del tratamiento con el filtro rociador .....	49
<b>Figura 5.5</b> Representación esquemática del procedimiento de fraccionado de las muestras del influente y de los efluentes .....	52
<b>Figura 5.6</b> Diagrama de flujo de la etapa experimental.....	55
<b>Figura 6.1</b> Distribución acumulada de tamaño de partículas en número del influente de la PTAR CU.....	58
<b>Figura 6.2</b> Distribución acumulada de tamaño de partículas en volumen del influente de la PTAR CU.....	59
<b>Figura 6.3</b> Relación entre el volumen de partículas y el color aparente del influente .....	60
<b>Figura 6.4</b> Relación entre el volumen de partículas y la DBO <sub>5</sub> en el influente .....	61
<b>Figura 6.5</b> Relación entre el volumen de partículas y la DQO <sub>t</sub> en el influente.....	62

<b>Figura 6.6</b> Relación entre el volumen de partículas y el nitrógeno amoniacal en el influente .....	63
<b>Figura 6.7</b> Relación entre el volumen de partículas y la turbiedad en el influente .....	63
<b>Figura 6.8</b> Relación entre el volumen de partículas y el ortofosfato en el influente .....	64
<b>Figura 6.9</b> Relación entre el volumen de partículas y los SST en el influente .....	64
<b>Figura 6.10</b> Comparación de las distribuciones acumulativas del tamaño de partículas en .....	67
<b>Figura 6.11</b> Comparación de las distribuciones acumulativas del tamaño de partículas en volumen de los efluentes secundarios.....	68
<b>Figura 6.12</b> Relación entre el volumen de partículas y el color aparente en el efluente del.....	71
<b>Figura 6.13</b> Relación entre el volumen de partículas y el color aparente en el efluente del.....	71
<b>Figura 6.14</b> Relación entre el volumen de partículas y el color aparente en el efluente del proceso del filtro rociador.....	72
<b>Figura 6.15</b> Relación entre el volumen de partículas y la turbiedad en el efluente del proceso de discos biológicos .....	73
<b>Figura 6.16</b> Relación entre el volumen de partículas y la turbiedad en el efluente del proceso del filtro rociador.....	73
<b>Figura 6.17</b> Relación entre el volumen de partículas y la turbiedad en el efluente del proceso de lodos activados .....	74
<b>Figura 6.18</b> Relación entre el volumen de partículas y el nitrógeno amoniacal en el efluente del proceso de discos biológicos .....	75
<b>Figura 6.19</b> Relación entre el volumen de partículas y el nitrógeno amoniacal en el efluente del proceso del filtro rociador.....	75
<b>Figura 6.20</b> Relación entre el volumen de partículas y el nitrógeno amoniacal en el efluente del proceso de lodos activados.....	76
<b>Figura 6.21</b> Relación entre el volumen de partículas y la DQO <sub>t</sub> en el efluente del proceso de discos biológicos.....	77
<b>Figura 6.22</b> Relación entre el volumen de partículas y la DQO <sub>t</sub> en el efluente del proceso de lodos activados ...	77
<b>Figura 6.23</b> Relación entre el volumen de partículas y la DQO <sub>t</sub> en el efluente del proceso del filtro rociador.....	78
<b>Figura 6.24</b> Relación entre el volumen de partículas y los PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> en el efluente del proceso del filtro rociador....	79
<b>Figura 6.25</b> Relación entre el volumen de partículas y los PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> en el efluente del proceso de discos biológicos.....	79
<b>Figura 6.26</b> Relación entre el volumen de partículas y los PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> en el efluente del proceso de lodos activados... ..	80
<b>Figura 6.27</b> Relación entre el volumen de partículas y los SST en el efluente del proceso de lodos activados .....	81
<b>Figura 6.28</b> Relación entre el volumen de partículas y los SST en el efluente del proceso del filtro rociador.....	81
<b>Figura 6.29</b> Relación entre el volumen de partículas y los SST en el efluente del proceso de discos biológicos .....	82
<b>Figura 6.30</b> Relación entre el volumen de partículas y la DBO <sub>t</sub> en el efluente del proceso de lodos activados....	83
<b>Figura 6.31</b> Relación entre el volumen de partículas y la DBO <sub>t</sub> en el efluente del proceso de discos biológicos.....	83
<b>Figura 6.32</b> Relación entre el volumen de partículas y la DBO <sub>t</sub> en el efluente del proceso del filtro rociador .....	84
<b>Figura 6.33</b> Distribución acumulada de tamaño de partículas en número del efluente filtrado.....	86
<b>Figura 6.34</b> Distribución acumulada de tamaño de partículas en volumen del efluente filtrado .....	86

<b>Figura 6.35</b> Relación entre el volumen de partículas y el color aparente en el efluente filtrado .....	88
<b>Figura 6.36</b> Relación entre el volumen de partículas y la $DQO_t$ en el efluente filtrado .....	88
<b>Figura 6.37</b> Relación entre el volumen de partículas y los SST en el efluente filtrado .....	89
<b>Figura 6.38</b> Relación entre el volumen de partículas y la turbiedad en el efluente filtrado.....	89
<b>Figura 6.39</b> Relación entre el volumen de partículas y el $NH_3-N$ en el efluente filtrado .....	90
<b>Figura 6.40</b> Relación entre el volumen de partículas y el $PO_4^{-3}$ en el efluente filtrado .....	91
<b>Figura 6.41</b> Relación entre el volumen de partículas y la $DBO_5$ en el efluente filtrado .....	91
<b>Figura B1</b> Distribución acumulada de tamaño de partículas en <b>a)</b> número y <b>b)</b> volumen del efluente del proceso de discos biológicos.....	XXVI
<b>Figura B2</b> Distribución acumulada de tamaño de partículas en <b>a)</b> número y <b>b)</b> volumen del efluente del proceso de lodos activados. ....	XXVI
<b>Figura B3</b> Distribución acumulada de tamaño de partículas en <b>a)</b> número y <b>b)</b> volumen del efluente del proceso del filtro rociador.....	XXVI
<b>Figura B4</b> Distribución acumulada de tamaño de partículas en <b>a)</b> número y <b>b)</b> volumen del efluente de la filtración de la PTAR CU .....	XXVII
<b>Figura C1</b> Remociones totales de los parámetros básicos en los efluentes de la PTAR CU .....	XXXI



# ÍNDICE DE TABLAS

---

<b>Tabla 2.1</b> Saneamiento del agua en México (modificado de SEMARNAT, CONAGUA, 2008) .....	3
<b>Tabla 2.2</b> Inventario nacional de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación (Modificado de SEMARNAT, CONAGUA, 2008) .....	4
<b>Tabla 2.3</b> Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación en el Distrito Federal (Modificado de SEMARNAT, CONAGUA, Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación, 2007). .....	8
<b>Tabla 2.4</b> Composición típica de las aguas residuales domésticas no tratadas (Modificado de Metcalf-Eddy, 2003) .....	10
<b>Tabla 2.5</b> Límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas tratadas .....	11
<b>Tabla 4.1</b> Dimensión nominal de tamices finos estándar .....	22
<b>Tabla 4.2</b> Equipos de agitación con tamizado seco y húmedo.....	23
<b>Tabla 4.3</b> Estándares básicos en la determinación de tamaños por tamices. ....	24
<b>Tabla 4.4</b> Clasificación de las técnicas de sedimentación y su principio.....	25
<b>Tabla 4.5</b> Equipos de sedimentación para el análisis de tamaños de partículas.....	28
<b>Tabla 4.6</b> Estándares básicos en la determinación de tamaños por sedimentación gravitacional .....	28
<b>Tabla 4.7</b> Ventajas, desventajas e intervalo de aplicación de las técnicas de separación de partículas. ....	32
<b>Tabla 4.8</b> Microscopios automatizados y rango de análisis de tamaño. ....	34
<b>Tabla 4.9</b> Estándares para la medición de tamaños con analizadores de imagen. ....	35
<b>Tabla 4.10</b> Equipos de análisis que utilizan el método de escaneo de corriente.....	41
<b>Tabla 4.11</b> Contadores ópticos y rangos de medición. ....	42
<b>Tabla 4.12</b> Contadores Doppler y rangos de medición.....	43
<b>Tabla 4.13</b> Interferómetro y rango de medición. ....	44
<b>Tabla 4.14</b> Ultramicroscopio de flujo y rango de medición. ....	44
<b>Tabla 4.15</b> Estándares básicos para la determinación de tamaños con el método de escaneo de corriente .....	46
<b>Tabla 5.1</b> Preservadores considerados por los métodos de determinación de parámetros físicos y químicos.....	50
<b>Tabla 6.1</b> Valores promedio determinados en el influente .....	57
<b>Tabla 6.2</b> Valores obtenidos de las distribuciones de tamaño de partículas en el influente .....	58
<b>Tabla 6.3</b> Distribución promedio de los parámetros analizados en el influente .....	59
<b>Tabla 6.4</b> Remoción de los parámetros tradicionales en los efluentes secundarios .....	65
<b>Tabla 6.5</b> Contenido de los parámetros tradicionales en los efluentes secundarios.....	66
<b>Tabla 6.6</b> Valores obtenidos de las distribuciones de tamaño de partículas en el efluente de los tratamientos secundarios .....	66

<b>Tabla 6.7</b> Distribución promedio de los parámetros analizados en el efluente de los tres procesos biológicos ....	69
<b>Tabla 6.8</b> Contenido de los parámetros tradicionales en el efluente filtrado .....	85
<b>Tabla 6.9</b> Valores obtenidos de las distribuciones de tamaño de partículas en el efluente filtrado .....	85
<b>Tabla 6.10</b> Distribución promedio de los parámetros analizados en el efluente filtrado .....	87
<b>Tabla A1</b> Distribución de los constituyentes básicos en los intervalos de tamaño de estudio para el primer muestreo. ....	I
<b>Tabla A2</b> Distribución de los constituyentes básicos en los intervalos de tamaño de estudio para el segundo muestreo. ....	II
<b>Tabla A3</b> Distribución de los constituyentes básicos en los intervalos de tamaño de estudio para el tercer muestreo. ....	III
<b>Tabla A4</b> Distribución de los constituyentes básicos en los intervalos de tamaño de estudio para el cuarto muestreo. ....	IV
<b>Tabla A5</b> Distribución promedio de los constituyentes básicos en el influente y en los efluentes de la PTAR CU .....	VI
<b>Tabla A6</b> Valores promedio de los constituyentes físicos y químicos básicos y de tamaño de partículas del influente y de los efluentes de la PTAR CU.....	VIII
<b>Tabla B1</b> Ejemplo de cálculo para el tamaño de partículas (adaptado de APHA, AWWA, WEF, 2005).....	IX
<b>Tabla B2</b> Distribución de tamaño de partícula promedio para el influente de la PTAR CU .....	IX
<b>Tabla B3</b> Distribución de tamaño de partícula promedio para los discos biológicos .....	XII
<b>Tabla B4</b> Distribución de tamaño de partícula promedio de los lodos activados .....	XVI
<b>Tabla B5</b> Distribución de tamaño de partícula promedio del filtro rociador .....	XIX
<b>Tabla B6</b> Distribución de tamaño de partícula promedio del efluente de la filtración .....	XXII
<b>Tabla B7</b> Distribución de partículas en número por intervalo de tamaño de estudio para cada muestreo y por etapa de tratamiento.....	XXVII
<b>Tabla B8</b> Distribución de partículas en volumen por intervalos de tamaño de estudio para cada muestreo y por etapa de tratamiento.....	XXVIII
<b>Tabla C1</b> Remociones totales de los parámetros básicos en los efluentes de la PTAR CU .....	XXXII
<b>Tabla C2</b> Contenido y porcentaje de remoción del número de partículas en el influente y los efluentes de la PTAR CU .....	XXXIV
<b>Tabla C3</b> Contenido y porcentaje de remoción del volumen de partículas en el influente y los efluentes de la PTAR CU .....	XXXV
<b>Tabla C4</b> Remoción en U log del total de número de partículas en el influente y los efluentes de la PTAR CU .....	XXXV
<b>Tabla C5</b> Remoción en U log del total de volumen de partículas en el influente y los efluentes de la PTAR CU .....	XXXVI
<b>Tabla D1</b> Expresiones comunes para cuantificar el tamaño de partícula.....	XXXVII

efluente del filtro rociador (0.8 U log). La remoción alcanzada por el efluente de la filtración desde el volumen determinado para el influente fue de 3.0 U log y únicamente para la etapa de filtración desde los efluentes secundarios fue de 1.9 U log. Con lo que se muestra que en términos de remoción la filtración es más efectiva en remover el volumen de partículas que cualquiera de los procesos biológicos estudiados.

**Tabla C5** Remoción en U log del total de volumen de partículas en el influente y los efluentes de la PTAR CU

	$\mu\text{m}^3 / \text{mL}$	U log	Remoción U log	Remoción del efluente secundario a la filtración
Influente	2.07E+08	8.316	0.000	
Discos Biológicos	1.19E+07	7.076	1.240	
Lodos Activados	1.47E+07	7.167	1.149	
Filtro Rociador	2.86E+07	7.456	0.860	
Promedio Efluentes Secundarios	1.84E+07	7.265	1.051	
Filtración	2.07E+05	5.316	3.000	1.949

# APÉNDICE A

## PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS

Los valores obtenidos de las determinaciones de los parámetros tradicionales se realizaron para las muestras colectadas y fraccionadas, obteniéndose éstos por medio del cálculo de la diferencia del contenido acumulado determinado para cada uno de los intervalos de tamaño. En las **Tablas A1, A2, A3 y A4** se presenta la distribución de los contaminantes por intervalo de tamaño, además se han incluido los valores de los intervalos <20 y <80 µm que muestran el contenido acumulado de los parámetros básicos. En los valores puntuales reportados, se puede observar la variación existente en el contenido de los parámetros básicos determinados para los efluentes y el influente estudiados por muestreo. Tal variación es debida no solamente a la calidad del influente sino también está regida por las condiciones de operación de cada proceso o nivel de tratamiento.

**Tabla A1** Distribución de los constituyentes básicos en los intervalos de tamaño de estudio para el primer muestreo.

Muestreo	Intervalos de tamaño estudiados						Total
	<11 µm	11-20 µm	<20 µm	20-80 µm	<80 µm	>80 µm	
	DBO <sub>5</sub> (mg/L)						
Efluente filtrado	3.64	2.98	6.62	3.72	10.34	9.68	20.02
Lodos activados	19.28	2.23	21.51	3.72	25.24	5.96	31.19
Discos biológicos	10.34	14.15	24.49	6.70	31.19	3.72	34.92
Filtro rociador	26.73	8.94	35.66	5.96	41.62	1.49	43.11
Influente	172.54	5.96	178.49	23.83	202.32	43.19	245.52
	DQO <sub>t</sub> (mg/L)						
Efluente filtrado	7.21	7.21	14.43	3.09	17.52	7.21	24.74
Lodos activados	34.01	2.06	36.07	12.37	48.44	22.89	71.33
Discos biológicos	23.71	5.15	28.86	1.03	29.89	12.07	41.96
Filtro rociador	47.41	1.03	48.44	15.46	63.90	38.90	102.80
Influente	417.50	17.83	435.34	70.28	505.62	138.47	644.09
	SST (mg/L)						
Efluente filtrado	6.00	0.00	6.00	6.00	12.00	18.00	30.00
Lodos activados	8.00	2.00	10.00	6.00	16.00	20.00	36.00
Discos biológicos	8.00	8.00	16.00	18.00	34.00	32.00	66.00
Filtro rociador	12.00	2.00	14.00	12.00	26.00	18.00	44.00
Influente	12.00	14.00	26.00	32.00	58.00	142.00	200.00
	NH <sub>3</sub> -N (mg/L)						
Efluente filtrado	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02
Lodos activados	10.30	0.20	10.50	0.00	10.50	1.75	12.25
Discos biológicos	4.50	0.50	5.00	0.25	5.25	0.25	5.50
Filtro rociador	14.00	0.00	14.00	0.25	14.25	0.25	14.50
Influente	54.00	2.50	56.50	0.00	56.50	4.00	60.50



Muestreo	Intervalos de tamaño estudiados						Total
	<11 $\mu\text{m}$	11-20 $\mu\text{m}$	<20 $\mu\text{m}$	20-80 $\mu\text{m}$	<80 $\mu\text{m}$	>80 $\mu\text{m}$	
M1							
	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/L)						
Efluente filtrado	0.20	0.00	0.20	0.10	0.30	0.00	0.30
Lodos activados	2.80	0.60	3.40	1.00	4.40	0.20	4.60
Discos biológicos	2.70	0.20	2.90	0.10	3.00	0.50	3.50
Filtro rociador	5.00	0.20	5.20	1.10	6.30	0.00	6.30
Influente	44.30	1.00	45.30	1.60	46.90	1.10	48.00
	Turbiedad (NTU)						
Efluente filtrado	0.64	0.40	1.04	0.05	1.09	0.67	1.76
Lodos activados	3.54	0.24	3.78	4.44	8.22	0.09	8.31
Discos biológicos	1.15	0.03	1.18	0.24	1.42	0.54	1.96
Filtro rociador	2.21	2.86	5.07	0.79	5.86	3.48	9.34
Influente	37.90	46.60	84.50	23.00	107.50	10.10	117.60
	Color aparente (PtCo)						
Efluente filtrado	5.00	1.00	6.00	1.00	7.00	9.00	16.00
Lodos activados	94.00	22.00	116.00	49.00	165.00	27.00	192.00
Discos biológicos	71.00	3.00	74.00	2.00	76.00	3.00	79.00
Filtro rociador	167.00	4.00	171.00	18.00	189.00	82.00	271.00
Influente	1599.00	80.00	1679.00	133.00	1812.00	29.00	1841.00

**Tabla A2** Distribución de los constituyentes básicos en los intervalos de tamaño de estudio para el segundo muestreo.

Muestreo	Intervalos de tamaño estudiados						Total
	<11 $\mu\text{m}$	11-20 $\mu\text{m}$	<20 $\mu\text{m}$	20-80 $\mu\text{m}$	<80 $\mu\text{m}$	>80 $\mu\text{m}$	
M2							
	DBO <sub>5</sub> (mg/L)						
Efluente filtrado	5.87	9.93	15.80	1.99	17.79	5.96	23.74
Lodos activados	21.76	8.94	30.69	9.93	40.62	17.87	58.49
Discos biológicos	20.76	7.94	28.71	3.97	32.68	14.89	47.57
Filtro rociador	25.73	0.99	26.72	21.84	48.57	7.94	56.51
Influente	171.05	14.89	185.94	38.72	224.66	19.36	244.03
	DQO <sub>t</sub> (mg/L)						
Efluente filtrado	5.69	2.85	8.54	5.69	14.23	8.54	22.77
Lodos activados	48.44	2.06	50.50	5.15	55.66	12.53	68.19
Discos biológicos	21.64	1.03	22.68	5.15	27.83	5.74	33.57
Filtro rociador	41.23	5.15	46.38	6.18	52.57	7.23	59.79
Influente	415.40	3.15	418.55	36.72	455.27	12.59	467.85
	SST (mg/L)						
Efluente filtrado	4.00	6.00	10.00	8.00	18.00	12.00	30.00
Lodos activados	16.00	6.00	22.00	2.00	24.00	10.00	34.00
Discos biológicos	10.00	2.00	12.00	4.00	16.00	8.00	24.00
Filtro rociador	12.00	2.00	14.00	4.00	18.00	22.00	40.00
Influente	20.00	12.00	32.00	18.00	50.00	160.00	210.00

Muestreo	Intervalos de tamaño estudiados						Total
	<11 $\mu\text{m}$	11-20 $\mu\text{m}$	<20 $\mu\text{m}$	20-80 $\mu\text{m}$	<80 $\mu\text{m}$	>80 $\mu\text{m}$	
NH <sub>3</sub> -N (mg/L)							
Efluente filtrado	0.02	0.00	0.02	0.01	0.03	0.00	0.03
Lodos activados	2.15	0.05	2.20	0.05	2.25	0.20	2.45
Discos biológicos	1.00	0.50	1.50	0.25	1.75	0.25	2.00
Filtro rociador	8.00	0.25	8.25	0.00	8.25	0.75	9.00
Influente	51.50	2.50	54.00	0.25	54.25	2.50	56.75
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/L)							
Efluente filtrado	0.10	0.10	0.20	0.10	0.30	0.00	0.30
Lodos activados	4.80	0.30	5.10	0.50	5.60	0.30	5.90
Discos biológicos	2.10	0.20	2.30	0.20	2.50	0.10	2.60
Filtro rociador	4.10	0.50	4.60	0.10	4.70	0.20	4.90
Influente	38.20	2.10	40.30	0.90	41.20	0.90	42.10
Turbiedad (NTU)							
Efluente filtrado	0.34	0.12	0.46	0.06	0.52	0.15	0.67
Lodos activados	5.04	0.00	5.04	3.74	8.78	0.28	9.06
Discos biológicos	1.20	0.00	1.20	0.30	1.50	0.46	1.96
Filtro rociador	1.68	1.18	2.86	0.48	3.34	1.43	4.77
Influente	45.50	9.60	55.10	3.60	58.70	24.90	83.60
Color apetente (PtCo)							
Efluente filtrado	2.00	2.00	4.00	5.00	9.00	15.00	24.00
Lodos activados	170.00	3.00	173.00	8.00	181.00	4.00	185.00
Discos biológicos	51.00	17.00	68.00	1.00	69.00	4.00	73.00
Filtro rociador	105.00	25.00	130.00	23.00	153.00	5.00	158.00
Influente	1281.00	36.00	1317.00	97.00	1414.00	10.00	1424.00

**Tabla A3** Distribución de los constituyentes básicos en los intervalos de tamaño de estudio para el tercer muestreo.

Muestreo	Intervalos de tamaño estudiados						Total
	<11 $\mu\text{m}$	11-20 $\mu\text{m}$	<20 $\mu\text{m}$	20-80 $\mu\text{m}$	<80 $\mu\text{m}$	>80 $\mu\text{m}$	
DBO <sub>5</sub> (mg/L)							
Efluente filtrado	5.57	8.36	13.94	6.27	20.21	9.41	29.62
Lodos activados	14.98	7.32	22.30	6.27	28.57	16.73	45.30
Discos biológicos	27.53	3.14	30.67	5.23	35.89	6.27	42.17
Filtro rociador	28.57	6.27	34.85	4.18	39.03	14.64	53.67
Influente	135.78	72.15	207.93	40.78	248.71	39.21	287.92
DQO <sub>1</sub> (mg/L)							
Efluente filtrado	2.58	2.58	5.15	1.55	6.70	9.79	16.49
Lodos activados	26.28	4.64	30.92	2.06	32.98	6.36	39.34
Discos biológicos	34.01	4.12	38.14	2.06	40.20	10.15	50.35
Filtro rociador	64.42	1.55	65.96	7.21	73.18	34.34	107.52
Influente	526.60	7.87	534.47	73.95	608.42	22.03	630.45

Muestreo	Intervalos de tamaño estudiados						Total
	<11 $\mu\text{m}$	11-20 $\mu\text{m}$	<20 $\mu\text{m}$	20-80 $\mu\text{m}$	<80 $\mu\text{m}$	>80 $\mu\text{m}$	
M 3							
	SST (mg/L)						
Efluente filtrado	2.17	9.83	12.00	2.00	14.00	4.00	18.00
Lodos activados	8.00	10.00	18.00	6.00	24.00	20.00	44.00
Discos biológicos	10.00	6.00	16.00	4.00	20.00	30.00	50.00
Filtro rociador	12.00	0.00	12.00	14.00	26.00	28.00	54.00
Influente	20.00	2.00	22.00	66.00	88.00	80.00	168.00
	NH <sub>3</sub> -N (mg/L)						
Efluente filtrado	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02
Lodos activados	5.85	0.05	5.90	0.10	6.00	0.10	6.10
Discos biológicos	9.80	0.95	10.75	1.35	12.10	0.25	12.35
Filtro rociador	17.70	0.60	18.30	0.15	18.45	0.25	18.70
Influente	65.25	0.25	65.50	0.50	66.00	2.00	68.00
	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/L)						
Efluente filtrado	0.30	0.00	0.30	0.10	0.40	0.00	0.40
Lodos activados	11.60	0.30	11.90	0.10	12.00	0.40	12.40
Discos biológicos	15.30	0.20	15.50	0.10	15.60	0.10	15.70
Filtro rociador	20.40	0.10	20.50	0.40	20.90	0.20	21.10
Influente	75.50	2.00	77.50	2.25	79.75	5.25	85.00
	Turbiedad (NTU)						
Efluente filtrado	0.33	0.02	0.35	0.04	0.39	0.06	0.45
Lodos activados	3.25	0.82	4.07	0.08	4.15	0.85	5.00
Discos biológicos	4.39	0.10	4.49	0.45	4.94	0.05	4.99
Filtro rociador	7.76	0.54	8.30	1.70	10.00	0.80	10.80
Influente	123.00	1.00	124.00	32.00	156.00	3.00	159.00
	Color aparente (PtCo)						
Efluente filtrado	4.00	1.00	5.00	0.00	5.00	5.00	10.00
Lodos activados	92.00	2.00	94.00	9.00	103.00	12.00	115.00
Discos biológicos	123.00	8.00	131.00	3.00	134.00	6.00	140.00
Filtro rociador	227.00	14.00	241.00	4.00	245.00	21.00	266.00
Influente	1571.00	5.00	1576.00	192.00	1768.00	17.00	1785.00

**Tabla A4** Distribución de los constituyentes básicos en los intervalos de tamaño de estudio para el cuarto muestreo.

Muestra	Intervalos de tamaño estudiados						Total
	<11 $\mu\text{m}$	11-20 $\mu\text{m}$	<20 $\mu\text{m}$	20-80 $\mu\text{m}$	<80 $\mu\text{m}$	>80 $\mu\text{m}$	
M 4							
	DBO <sub>5</sub> (mg/L)						
Efluente filtrado	6.62	1.05	7.66	5.23	12.89	4.18	17.07
Lodos activados	18.12	11.50	29.62	4.18	33.80	1.05	34.85
Discos biológicos	17.07	9.41	26.48	3.14	29.62	2.09	31.71
Filtro rociador	14.98	17.78	32.76	3.14	35.89	25.09	60.99
Influente	113.70	50.19	163.89	12.55	176.43	40.78	217.21

Muestra	Intervalos de tamaño estudiados						Total
	<11 $\mu\text{m}$	11-20 $\mu\text{m}$	<20 $\mu\text{m}$	20-80 $\mu\text{m}$	<80 $\mu\text{m}$	>80 $\mu\text{m}$	
DQO <sub>t</sub> (mg/L)							
Efluente filtrado	6.48	8.10	14.57	3.24	17.81	3.24	21.05
Lodos activados	17.52	2.06	19.58	3.09	22.68	4.07	26.75
Discos biológicos	20.10	1.55	21.64	4.12	25.77	1.51	27.27
Filtro rociador	31.95	4.12	36.07	0.52	36.59	42.61	79.20
Influente	315.75	89.17	404.91	27.80	432.71	170.46	603.18
SST (mg/L)							
Efluente filtrado	6.00	10.00	16.00	2.00	18.00	6.00	24.00
Lodos activados	8.00	2.00	10.00	0.00	10.00	26.00	36.00
Discos biológicos	10.00	2.00	12.00	6.00	18.00	10.00	28.00
Filtro rociador	6.00	8.00	14.00	12.00	26.00	12.00	38.00
Influente	18.00	16.00	34.00	4.00	38.00	132.00	170.00
NH <sub>3</sub> -N (mg/L)							
Efluente filtrado	0.01	0.00	0.01	0.02	0.03	0.15	0.18
Lodos activados	7.70	0.30	8.00	0.30	8.30	0.15	8.45
Discos biológicos	7.30	0.05	7.35	0.10	7.45	0.05	7.50
Filtro rociador	17.35	0.15	17.50	0.10	17.60	0.20	17.80
Influente	62.50	3.50	66.00	0.75	66.75	2.25	69.00
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/lit)							
Efluente filtrado	0.40	0.00	0.40	0.00	0.40	0.20	0.60
Lodos activados	11.10	0.60	11.70	0.00	11.70	0.50	12.20
Discos biológicos	8.90	0.10	9.00	0.20	9.20	0.10	9.30
Filtro rociador	13.80	0.10	13.90	0.20	14.10	1.50	15.60
Influente	69.40	11.10	80.50	0.90	81.40	7.50	88.90
Turbiedad (NTU)							
Efluente filtrado	0.16	0.03	0.19	0.04	0.23	0.06	0.29
Lodos activados	1.05	0.90	1.95	0.33	2.28	0.14	2.42
Discos biológicos	0.76	0.23	0.99	0.19	1.18	0.06	1.24
Filtro rociador	1.65	0.39	2.04	0.17	2.21	0.09	2.30
Influente	29.80	44.30	74.10	5.50	79.60	30.10	109.70
Color aparente (PtCo)							
Efluente filtrado	5.00	3.00	8.00	5.00	13.00	1.00	14.00
Lodos activados	61.00	16.00	77.00	16.00	93.00	4.00	97.00
Discos biológicos	46.00	5.00	51.00	1.00	52.00	13.00	65.00
Filtro rociador	91.00	8.00	99.00	30.00	129.00	17.00	146.00
Influente	1129.00	252.00	1381.00	63.00	1444.00	332.00	1776.00

A cada uno de los intervalos se le determinó el porcentaje que corresponde a cada parámetro básico. La **Tabla A5** muestra los valores promedio obtenidos para el influente y para cada uno de los efluentes estudiados, donde las unidades de los parámetros son las mismas que en las tablas anteriores. Para el influente y para el efluente de los tres procesos biológicos el mayor

contenido de los contaminantes se distribuye en el intervalo de tamaño de partículas <11 µm en algunos casos alcanzando valores superiores al 90%, exceptuando para los SST donde este parámetro se distribuye mayormente en el intervalo de partículas >80 µm.

Para el efluente de la filtración, el contenido de la materia orgánica tuvo un abatimiento importante en el intervalo de partículas pequeñas, distribuyéndose así de manera uniforme en todos los intervalos de estudio. La distribución del contenido de los nutrientes permaneció sin variación para el ortofosfato, pero en el caso del nitrógeno amoniacal este si se redujo de manera importante en el intervalo de partículas pequeñas y se encontró en mayor porcentaje en las partículas grandes. La distribución de la turbiedad y de los SST permaneció sin cambios y el color aparente dejo de distribuirse mayormente en las partículas menores para ahora estar en mayor cantidad en el intervalo de partículas >80 µm.

**Tabla A5** Distribución promedio de los constituyentes básicos en el influente y en los efluentes de la PTAR CU

	Intervalos de tamaño estudiados						Total
	<11 µm	11-20 µm	<20 µm	20-80 µm	<80 µm	>80 µm	
Influente							
DBO <sub>5</sub>	148.3	35.8	184.1	29.0	213.0	35.6	248.7
(%)	60.0	14.2	74.1	11.4	85.5	14.5	100.0
DQO <sub>t</sub>	418.8	29.5	448.3	52.2	500.5	85.9	586.4
(%)	72.4	4.9	77.2	8.8	86.0	14.0	100.0
SST	17.5	11.0	28.5	30.0	58.5	128.5	187.0
(%)	9.5	5.8	15.3	16.6	31.9	68.1	100.0
NH <sub>3</sub> -N	58.3	2.2	60.5	0.4	60.9	2.7	63.6
(%)	91.6	3.5	95.1	0.6	95.7	4.3	100.0
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	56.9	4.1	60.9	1.4	62.3	3.7	66.0
(%)	87.5	5.5	93.0	2.3	95.2	4.8	100.0
Turbiedad	59.1	25.4	84.4	16.0	100.5	17.0	117.5
(%)	47.8	23.0	70.8	12.3	83.1	16.9	100.0
Color aparente	1395.0	93.3	1488.3	121.3	1609.5	97.0	1706.5
(%)	82.1	5.3	87.4	7.1	94.5	5.5	100.0
Efluente de lodos activados							
DBO <sub>5</sub>	18.5	7.5	26.0	6.0	32.1	10.4	42.5
(%)	46.0	17.9	63.9	13.7	77.6	22.4	100.0
DQO <sub>t</sub>	31.6	2.7	34.3	5.7	39.9	11.5	51.4
(%)	62.8	6.4	69.1	10.4	79.5	20.5	100.0
SST	10.0	5.0	15.0	3.5	18.5	19.0	37.5
(%)	27.4	12.9	40.3	9.0	49.3	50.7	100.0
NH <sub>3</sub> -N	6.5	0.2	6.7	0.1	6.8	0.6	7.3
(%)	89.7	2.0	91.7	1.8	93.5	6.5	100.0
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	7.6	0.5	8.0	0.4	8.4	0.4	8.8
(%)	81.7	6.4	88.1	7.8	95.8	4.2	100.0
Turbiedad	3.2	0.5	3.7	2.1	5.9	0.3	6.2
(%)	51.7	14.1	65.8	27.5	93.3	6.7	100.0
Color aparente	104.3	10.8	115.0	20.5	135.5	11.8	147.3
(%)	70.9	7.8	78.8	13.5	92.3	7.7	100.0
Efluente de los discos biológicos							
DBO <sub>5</sub>	18.9	8.7	27.6	4.8	32.3	6.7	39.1
(%)	48.4	22.2	70.6	12.2	82.7	17.3	100.0
DQO <sub>t</sub>	24.9	3.0	27.8	3.1	30.9	7.4	38.3
(%)	64.9	7.7	72.7	8.1	80.8	19.2	100.0

	Intervalos de tamaño estudiados						Total
	<11 µm	11-20 µm	<20 µm	20-80 µm	<80 µm	>80 µm	
SST	9.5	4.5	14.0	8.0	22.0	20.0	42.0
(%)	22.6	10.7	33.3	19.0	52.4	47.6	100.0
NH <sub>3</sub> -N	5.7	0.5	6.2	0.5	6.6	0.2	6.8
(%)	82.6	7.3	89.9	7.1	97.1	2.9	100.0
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	7.3	0.2	7.4	0.2	7.6	0.2	7.8
(%)	93.2	2.3	95.5	1.9	97.4	2.6	100.0
Turbiedad	1.9	0.1	2.0	0.3	2.3	0.3	2.5
(%)	73.9	3.5	77.4	11.6	89.1	10.9	100.0
Color aparente	72.8	8.3	81.0	1.8	82.8	6.5	89.3
(%)	81.5	9.2	90.8	2.0	92.7	7.3	100.0
Efluente del filtro rociador							
DBO <sub>5</sub>	24.0	8.5	32.5	8.8	41.3	12.3	53.6
(%)	44.8	15.9	60.7	16.4	77.1	22.9	100.0
DQO <sub>t</sub>	46.3	3.0	49.2	7.3	56.6	30.8	87.3
(%)	53.0	3.4	56.4	8.4	64.8	35.2	100.0
SST	10.5	3.0	13.5	10.5	24.0	20.0	44.0
(%)	23.9	6.8	30.7	23.9	54.5	45.5	100.0
NH <sub>3</sub> -N	14.3	0.3	14.5	0.1	14.6	0.4	15.0
(%)	95.1	1.7	96.8	0.8	97.6	2.4	100.0
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	10.8	0.2	11.1	0.5	11.5	0.5	12.0
(%)	90.4	1.9	92.3	3.8	96.0	4.0	100.0
Turbiedad	3.3	1.2	4.6	0.8	5.4	1.5	6.8
(%)	48.9	18.3	67.1	11.5	78.7	21.3	100.0
Color aparente	147.5	12.8	160.3	18.8	179.0	31.3	210.3
(%)	70.2	6.1	76.2	8.9	85.1	14.9	100.0
Efluente de la filtración							
DBO <sub>5</sub>	5.4	5.6	11.0	4.3	15.3	7.3	22.6
(%)	24.0	24.7	48.7	19.0	67.7	32.3	100.0
DQO <sub>t</sub>	5.5	5.2	10.7	3.4	14.1	7.2	21.3
(%)	25.8	24.4	50.2	16.0	66.2	33.8	100.0
SST	4.5	6.5	11.0	4.5	15.5	10.0	25.5
(%)	17.8	25.3	43.1	17.6	60.8	39.2	100.0
NH <sub>3</sub> -N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
(%)	16.7	0.0	16.7	16.7	33.3	66.7	100.0
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	0.3	0.0	0.3	0.1	0.4	0.1	0.4
(%)	62.5	6.3	68.8	18.8	87.5	12.5	100.0
Turbiedad	0.4	0.1	0.5	0.0	0.6	0.2	0.8
(%)	46.4	18.0	64.4	6.0	70.3	29.7	100.0
Color aparente	4.0	1.8	5.8	2.8	8.5	7.5	16.0
(%)	25.0	10.9	35.9	17.2	53.1	46.9	100.0

Los valores promedio obtenidos para el contenido de los parámetros tradicionales en las muestras totales del influente así como de los efluentes de la PTAR CU, reflejan de manera clara las características de las aguas estudiadas. La **Tabla A6**, presenta la variación encontrada para los parámetros básicos analizados, los parámetros determinados *in situ* así como los valores obtenidos de las distribuciones de tamaño en número y volumen de partículas. La mayor variación se encuentra en los valores determinados para el efluente de la filtración, donde para el nitrógeno amoniacal y el número de partículas presentan una desviación estándar similar al valor promedio obtenido para estos parámetros.

**Tabla A6** Valores promedio de los constituyentes físicos y químicos básicos y de tamaño de partículas del influente y de los efluentes de la PTAR CU.

Parámetro	Influyente	Efluente lodos activados	Efluente discos biológicos	Efluente filtro rociador	Efluente PTAR CU
	$\bar{x} \pm \sigma$	$\bar{x} \pm \sigma$	$\bar{x} \pm \sigma$	$\bar{x} \pm \sigma$	$\bar{x} \pm \sigma$
DBO <sub>5</sub> (mg / L)	248 ± 25	42 ± 10	38 ± 6.1	53 ± 6.5	21 ± 4.6
DQO (mg / L)	586 ± 70	51 ± 18	39 ± 8.7	87 ± 19	22 ± 3.0
SST (mg / L)	187 ± 18	37 ± 3.8	42 ± 17	44 ± 6.1	25 ± 4.9
NH <sub>3</sub> -N (mg / L)	63 ± 5.1	7.3 ± 3.5	6.8 ± 3.7	15 ± 3.8	0.06 ± 0.07
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg / L)	66 ± 21	8.7 ± 3.5	7.7 ± 5.2	11 ± 6.6	0.4 ± 0.1
Turbiedad (NTU)	117 ± 27	6.2 ± 2.6	2.5 ± 1.4	6.8 ± 3.4	0.7 ± 0.5
Color aparente (PtCo)	1706 ± 164	147 ± 41	89 ± 29	210 ± 58	16 ± 5.1
Conductividad (µS / cm)	1980 ± 120	1219 ± 80	1111 ± 94	1265 ± 123	856 ± 27.2
pH	8.2 ± 0.07	6.9 ± 0.06	7.2 ± 0.04	7.6 ± 0.06	7.3 ± 0.1
Temperatura (°C)	22.1 ± 0.5	21 ± 0.4	21 ± 0.03	21 ± 0.5	21 ± 0.5
Vol. de partículas x10 <sup>6</sup> (µm <sup>3</sup> / mL)	207 ± 6.1	14 ± 2.5	11 ± 6.7	28 ± 17	0.27 ± 0.10
No. de partículas x10 <sup>6</sup> (partículas / mL)	50 ± 22	0.58 ± 0.55	1.4 ± 1.0	2.8 ± 2.5	0.023 ± 0.023

# APÉNDICE B

## DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS

Los valores obtenidos de las distribuciones de tamaño de partícula realizados para las muestras colectadas determinadas con la técnica del sensor de zona eléctrica son contenidos en 256 canales, a los cuales le corresponde un diámetro de partículas diferente y un número y volumen correspondiente a cada tamaño. En la **Tabla B1** se presenta un ejemplo del análisis del cálculo de tamaño de la partícula instalado en el software de los equipos de conteo de partículas y la manera de cómo éste realiza el cálculo.

**Tabla B1** Ejemplo de cálculo para el tamaño de partículas (adaptado de APHA, AWWA, WEF, 2005)

No. De canal	Limite inferior	Limite superior	Diám. medio	$\Delta d_{pi}$	$\log d_{pi}$	$\Delta \log d_{pi}$	Correc. de conteo	Num. Conc.	Vol. Conc.	$\Delta N_i / \Delta d_{pi}$	$\Delta V_i / \Delta d_{pi}$	$\Delta N_i / \Delta \log d_{pi}$	$\Delta V_i / \Delta \log d_{pi}$
	$d_p$	$d_p$	$d_{pi}$		$d_{pi}$ in	$d_{pi}$		$\Delta N_i$	$\Delta V_i$	No/mL- $\mu m$	$\mu m^3/mL$	No/mL	$\mu m^3/mL$
	$\mu m$	$\mu m$	$\mu m$	$\mu m$	$\mu m$	$\mu m$		No/mL	$\mu m^3/mL$			No/mL	$\mu m^3/mL$
6	2.95	3.39	3.16	0.44	0.50	0.06	5125	102500	1.7E+06	2.3 E+05	3.8 E+06	1.7 E+06	2.8 E+07
7	3.39	3.89	3.63	0.50	0.56	0.06	4568	91360	2.3 E+06	1.8 E+05	4.6 E+06	1.5 E+06	2.8 E+07
8	3.89	4.47	4.17	0.58	0.62	0.06	3888	77760	2.9 E+06	1.3 E+05	5.1 E+06	1.3 E+06	4.9 E+07
9	4.47	5.13	4.79	0.66	0.68	0.06	3088	61760	3.5 E+06	9.3 E+04	5.4 E+06	1.0 E+06	5.9 E+07
10	5.13	5.89	5.50	0.76	0.74	0.06	2289	45780	4.0 E+06	6.0 E+04	5.2 E+06	7.6 E+05	6.6 E+07

Los valores obtenidos para el influente, el efluente de los procesos biológicos y el efluente de la filtración son presentados en las **Tablas B2, B3, B4 y B5**. Donde se observa el diámetro de partícula, el número de partículas por mililitro (Número/mL) y el volumen correspondiente en micrómetros cúbicos por mililitro ( $\mu m^3/mL$ ) para cada una de las muestras así como el promedio de éstas. Las determinaciones de las distribuciones de tamaño de partículas para las muestras se realizaron por triplicado.

**Tabla B2** Distribución de tamaño de partícula promedio para el influente de la PTAR CU

Canal	Diam.	Influente M1 12mayo2008		Diam.	Influente M2 19mayo2008		Diam.	Influente M3 26mayo2008		Diam.	Influente M4 2junio2008		Diam.	Influente Promedio	
		Número / mL	$\mu m^3 / mL$		Número / mL	$\mu m^3 / mL$		Número / mL	$\mu m^3 / mL$		Número / mL	$\mu m^3 / mL$		Número / mL	$\mu m^3 / mL$
<b>Influente</b>															
1	1.12	0.0E+00	0.0E+00	1.06	0.0E+00	0.0E+00	1.12	0.0E+00	0.0E+00	1.11	0.0E+00	0.0E+00	1.06	0.0E+00	0.0E+00
2	1.14	1.7E+06	1.2E+06	1.07	2.4E+06	1.5E+06	1.14	1.6E+06	1.2E+06	1.12	8.9E+05	6.5E+05	1.07	1.1E+06	7.1E+05
3	1.15	5.8E+06	4.5E+06	1.09	4.7E+06	3.0E+06	1.15	5.6E+06	4.3E+06	1.14	1.8E+06	1.4E+06	1.09	2.2E+06	1.4E+06
4	1.17	9.8E+06	7.8E+06	1.11	6.9E+06	4.6E+06	1.17	9.4E+06	7.5E+06	1.16	2.7E+06	2.1E+06	1.11	3.3E+06	2.2E+06
5	1.19	1.4E+07	1.1E+07	1.13	9.0E+06	6.1E+06	1.19	1.3E+07	1.1E+07	1.18	3.5E+06	2.7E+06	1.13	5.1E+06	3.5E+06
6	1.21	1.7E+07	1.4E+07	1.14	1.1E+07	7.7E+06	1.21	1.6E+07	1.4E+07	1.20	4.3E+06	3.4E+06	1.14	7.4E+06	5.3E+06
7	1.23	2.0E+07	1.7E+07	1.16	1.3E+07	9.2E+06	1.23	1.9E+07	1.7E+07	1.21	5.0E+06	4.1E+06	1.16	9.8E+06	7.2E+06
8	1.25	2.3E+07	2.0E+07	1.18	1.5E+07	1.1E+07	1.25	2.2E+07	1.9E+07	1.23	5.7E+06	4.8E+06	1.18	1.2E+07	9.1E+06
9	1.27	2.6E+07	2.3E+07	1.20	1.7E+07	1.2E+07	1.27	2.5E+07	2.2E+07	1.25	6.4E+06	5.4E+06	1.20	1.4E+07	1.1E+07
10	1.29	2.9E+07	2.6E+07	1.22	1.8E+07	1.4E+07	1.29	2.8E+07	2.5E+07	1.27	7.0E+06	6.0E+06	1.22	1.6E+07	1.3E+07
11	1.31	3.1E+07	2.9E+07	1.24	2.0E+07	1.5E+07	1.31	3.0E+07	2.8E+07	1.29	7.5E+06	6.7E+06	1.24	1.8E+07	1.5E+07
12	1.33	3.4E+07	3.2E+07	1.26	2.1E+07	1.7E+07	1.33	3.2E+07	3.0E+07	1.31	8.1E+06	7.3E+06	1.26	2.0E+07	1.6E+07
13	1.35	3.6E+07	3.4E+07	1.28	2.3E+07	1.8E+07	1.35	3.4E+07	3.3E+07	1.33	8.6E+06	7.9E+06	1.28	2.2E+07	1.8E+07
14	1.37	3.8E+07	3.7E+07	1.30	2.4E+07	2.0E+07	1.37	3.6E+07	3.6E+07	1.35	9.1E+06	8.5E+06	1.30	2.3E+07	2.0E+07
15	1.39	4.0E+07	4.0E+07	1.32	2.5E+07	2.2E+07	1.39	3.8E+07	3.8E+07	1.38	9.5E+06	9.1E+06	1.32	2.5E+07	2.2E+07
16	1.41	4.2E+07	4.2E+07	1.34	2.7E+07	2.3E+07	1.41	4.0E+07	4.1E+07	1.40	9.9E+06	9.7E+06	1.34	2.6E+07	2.4E+07
17	1.43	4.3E+07	4.5E+07	1.36	2.8E+07	2.5E+07	1.43	4.2E+07	4.3E+07	1.42	1.0E+07	1.0E+07	1.36	2.7E+07	2.5E+07
18	1.46	4.5E+07	4.8E+07	1.38	2.9E+07	2.6E+07	1.46	4.3E+07	4.6E+07	1.44	1.1E+07	1.1E+07	1.38	2.9E+07	2.7E+07
19	1.48	4.6E+07	5.0E+07	1.40	3.0E+07	2.8E+07	1.48	4.5E+07	4.8E+07	1.46	1.1E+07	1.1E+07	1.40	3.0E+07	2.9E+07
20	1.50	4.8E+07	5.3E+07	1.42	3.1E+07	2.9E+07	1.50	4.6E+07	5.0E+07	1.49	1.1E+07	1.2E+07	1.43	3.1E+07	3.0E+07
21	1.53	4.9E+07	5.5E+07	1.45	3.2E+07	3.1E+07	1.52	4.7E+07	5.3E+07	1.51	1.2E+07	1.3E+07	1.45	3.2E+07	3.2E+07
22	1.55	5.0E+07	5.7E+07	1.47	3.3E+07	3.2E+07	1.55	4.8E+07	5.5E+07	1.53	1.2E+07	1.3E+07	1.47	3.3E+07	3.4E+07
23	1.57	5.2E+07	6.0E+07	1.49	3.4E+07	3.4E+07	1.57	5.0E+07	5.7E+07	1.56	1.2E+07	1.4E+07	1.49	3.4E+07	3.5E+07
24	1.60	5.3E+07	6.2E+07	1.52	3.5E+07	3.5E+07	1.60	5.1E+07	5.9E+07	1.58	1.3E+07	1.4E+07	1.52	3.5E+07	3.7E+07
25	1.62	5.4E+07	6.4E+07	1.54	3.5E+07	3.6E+07	1.62	5.2E+07	6.1E+07	1.61	1.3E+07	1.5E+07	1.54	3.6E+07	3.8E+07
26	1.65	5.5E+07	6.6E+07	1.57	3.6E+07	3.8E+07	1.65	5.2E+07	6.4E+07	1.63	1.3E+07	1.5E+07	1.57	3.7E+07	4.0E+07
27	1.67	5.5E+07	6.8E+07	1.59	3.7E+07	3.9E+07	1.67	5.3E+07	6.6E+07	1.66	1.3E+07	1.6E+07	1.59	3.7E+07	4.2E+07
28	1.70	5.6E+07	7.0E+07	1.62	3.7E+07	4.0E+07	1.70	5.4E+07	6.7E+07	1.68	1.4E+07	1.6E+07	1.62	3.8E+07	4.3E+07



APÉNDICE B

Canal	Diam. µm	Influente M1 12mayo2008		Diam. µm	Influente M2 19mayo2008		Diam. µm	Influente M3 26mayo2008		Diam. µm	Influente M4 2junio2008		Diam. µm	Influente Promedio	
		Número /mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número /mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número /mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número /mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número /mL	µm <sup>3</sup> / mL
29	1.73	5.7E+07	7.2E+07	1.64	3.8E+07	4.2E+07	1.72	5.5E+07	6.9E+07	1.71	1.4E+07	1.7E+07	1.64	3.9E+07	4.5E+07
30	1.75	5.8E+07	7.4E+07	1.67	3.8E+07	4.3E+07	1.75	5.5E+07	7.1E+07	1.74	1.4E+07	1.8E+07	1.67	3.9E+07	4.6E+07
31	1.78	5.8E+07	7.6E+07	1.69	3.9E+07	4.4E+07	1.78	5.6E+07	7.3E+07	1.76	1.4E+07	1.8E+07	1.70	4.0E+07	4.7E+07
32	1.81	5.9E+07	7.7E+07	1.72	3.9E+07	4.5E+07	1.80	5.7E+07	7.4E+07	1.79	1.4E+07	1.9E+07	1.72	4.0E+07	4.9E+07
33	1.84	5.9E+07	7.9E+07	1.75	4.0E+07	4.7E+07	1.83	5.7E+07	7.6E+07	1.82	1.5E+07	1.9E+07	1.75	4.1E+07	5.0E+07
34	1.86	6.0E+07	8.1E+07	1.77	4.0E+07	4.8E+07	1.86	5.8E+07	7.8E+07	1.85	1.5E+07	2.0E+07	1.78	4.1E+07	5.2E+07
35	1.89	6.0E+07	8.2E+07	1.80	4.1E+07	4.9E+07	1.89	5.8E+07	7.9E+07	1.88	1.5E+07	2.1E+07	1.81	4.2E+07	5.3E+07
36	1.92	6.1E+07	8.4E+07	1.83	4.1E+07	5.0E+07	1.92	5.8E+07	8.1E+07	1.91	1.5E+07	2.2E+07	1.83	4.2E+07	5.4E+07
37	1.95	6.1E+07	8.5E+07	1.86	4.1E+07	5.1E+07	1.95	5.9E+07	8.2E+07	1.94	1.5E+07	2.2E+07	1.86	4.3E+07	5.6E+07
38	1.98	6.1E+07	8.7E+07	1.89	4.2E+07	5.2E+07	1.98	5.9E+07	8.3E+07	1.97	1.6E+07	2.3E+07	1.89	4.3E+07	5.7E+07
39	2.01	6.2E+07	8.8E+07	1.92	4.2E+07	5.3E+07	2.01	5.9E+07	8.5E+07	2.00	1.6E+07	2.4E+07	1.92	4.3E+07	5.8E+07
40	2.05	6.2E+07	9.0E+07	1.95	4.2E+07	5.4E+07	2.04	6.0E+07	8.6E+07	2.03	1.6E+07	2.5E+07	1.95	4.4E+07	6.0E+07
41	2.08	6.2E+07	9.1E+07	1.98	4.2E+07	5.5E+07	2.07	6.0E+07	8.7E+07	2.06	1.6E+07	2.6E+07	1.98	4.4E+07	6.1E+07
42	2.11	6.3E+07	9.2E+07	2.01	4.3E+07	5.6E+07	2.11	6.0E+07	8.9E+07	2.09	1.6E+07	2.7E+07	2.02	4.4E+07	6.2E+07
43	2.14	6.3E+07	9.4E+07	2.04	4.3E+07	5.7E+07	2.14	6.1E+07	9.0E+07	2.13	1.7E+07	2.7E+07	2.05	4.5E+07	6.4E+07
44	2.18	6.3E+07	9.5E+07	2.08	4.3E+07	5.8E+07	2.17	6.1E+07	9.2E+07	2.16	1.7E+07	2.8E+07	2.08	4.5E+07	6.5E+07
45	2.21	6.4E+07	9.7E+07	2.11	4.3E+07	5.8E+07	2.20	6.1E+07	9.3E+07	2.19	1.7E+07	2.9E+07	2.11	4.5E+07	6.7E+07
46	2.24	6.4E+07	9.8E+07	2.14	4.3E+07	5.9E+07	2.24	6.1E+07	9.5E+07	2.23	1.7E+07	3.0E+07	2.15	4.6E+07	6.8E+07
47	2.28	6.4E+07	1.0E+08	2.18	4.3E+07	6.0E+07	2.27	6.2E+07	9.6E+07	2.26	1.7E+07	3.1E+07	2.18	4.6E+07	6.9E+07
48	2.32	6.4E+07	1.0E+08	2.21	4.4E+07	6.1E+07	2.31	6.2E+07	9.8E+07	2.30	1.7E+07	3.2E+07	2.22	4.6E+07	7.1E+07
49	2.35	6.5E+07	1.0E+08	2.25	4.4E+07	6.2E+07	2.34	6.2E+07	9.9E+07	2.33	1.8E+07	3.3E+07	2.25	4.6E+07	7.2E+07
50	2.39	6.5E+07	1.0E+08	2.28	4.4E+07	6.3E+07	2.38	6.2E+07	1.0E+08	2.37	1.8E+07	3.4E+07	2.29	4.7E+07	7.4E+07
51	2.43	6.5E+07	1.1E+08	2.32	4.4E+07	6.3E+07	2.42	6.3E+07	1.0E+08	2.41	1.8E+07	3.5E+07	2.32	4.7E+07	7.5E+07
52	2.46	6.5E+07	1.1E+08	2.35	4.4E+07	6.4E+07	2.46	6.3E+07	1.0E+08	2.45	1.8E+07	3.6E+07	2.36	4.7E+07	7.7E+07
53	2.50	6.5E+07	1.1E+08	2.39	4.4E+07	6.5E+07	2.49	6.3E+07	1.1E+08	2.48	1.8E+07	3.7E+07	2.40	4.7E+07	7.8E+07
54	2.54	6.6E+07	1.1E+08	2.43	4.4E+07	6.6E+07	2.53	6.3E+07	1.1E+08	2.52	1.8E+07	3.7E+07	2.43	4.7E+07	7.9E+07
55	2.58	6.6E+07	1.1E+08	2.47	4.4E+07	6.7E+07	2.57	6.3E+07	1.1E+08	2.56	1.8E+07	3.8E+07	2.47	4.8E+07	8.1E+07
56	2.62	6.6E+07	1.1E+08	2.51	4.5E+07	6.7E+07	2.61	6.4E+07	1.1E+08	2.60	1.8E+07	3.9E+07	2.51	4.8E+07	8.2E+07
57	2.66	6.6E+07	1.2E+08	2.55	4.5E+07	6.8E+07	2.65	6.4E+07	1.1E+08	2.64	1.8E+07	4.0E+07	2.55	4.8E+07	8.3E+07
58	2.70	6.6E+07	1.2E+08	2.59	4.5E+07	6.9E+07	2.69	6.4E+07	1.1E+08	2.69	1.8E+07	4.0E+07	2.59	4.8E+07	8.5E+07
59	2.74	6.6E+07	1.2E+08	2.63	4.5E+07	7.0E+07	2.74	6.4E+07	1.1E+08	2.73	1.9E+07	4.1E+07	2.63	4.8E+07	8.6E+07
60	2.79	6.7E+07	1.2E+08	2.67	4.5E+07	7.0E+07	2.78	6.4E+07	1.2E+08	2.77	1.9E+07	4.2E+07	2.68	4.8E+07	8.7E+07
61	2.83	6.7E+07	1.2E+08	2.71	4.5E+07	7.1E+07	2.82	6.4E+07	1.2E+08	2.81	1.9E+07	4.2E+07	2.72	4.8E+07	8.8E+07
62	2.88	6.7E+07	1.2E+08	2.75	4.5E+07	7.2E+07	2.86	6.4E+07	1.2E+08	2.86	1.9E+07	4.3E+07	2.76	4.9E+07	8.9E+07
63	2.92	6.7E+07	1.2E+08	2.80	4.5E+07	7.3E+07	2.91	6.4E+07	1.2E+08	2.90	1.9E+07	4.3E+07	2.80	4.9E+07	9.0E+07
64	2.97	6.7E+07	1.3E+08	2.84	4.5E+07	7.3E+07	2.95	6.5E+07	1.2E+08	2.95	1.9E+07	4.4E+07	2.85	4.9E+07	9.2E+07
65	3.01	6.7E+07	1.3E+08	2.89	4.5E+07	7.4E+07	3.00	6.5E+07	1.2E+08	2.99	1.9E+07	4.5E+07	2.89	4.9E+07	9.3E+07
66	3.06	6.7E+07	1.3E+08	2.93	4.5E+07	7.5E+07	3.05	6.5E+07	1.2E+08	3.04	1.9E+07	4.5E+07	2.94	4.9E+07	9.4E+07
67	3.11	6.7E+07	1.3E+08	2.98	4.5E+07	7.5E+07	3.09	6.5E+07	1.2E+08	3.09	1.9E+07	4.5E+07	2.99	4.9E+07	9.5E+07
68	3.15	6.7E+07	1.3E+08	3.03	4.5E+07	7.6E+07	3.14	6.5E+07	1.2E+08	3.14	1.9E+07	4.6E+07	3.03	4.9E+07	9.6E+07
69	3.20	6.7E+07	1.3E+08	3.07	4.5E+07	7.7E+07	3.19	6.5E+07	1.3E+08	3.19	1.9E+07	4.6E+07	3.08	4.9E+07	9.6E+07
70	3.25	6.7E+07	1.3E+08	3.12	4.5E+07	7.7E+07	3.24	6.5E+07	1.3E+08	3.24	1.9E+07	4.6E+07	3.13	4.9E+07	9.7E+07
71	3.30	6.7E+07	1.3E+08	3.17	4.5E+07	7.8E+07	3.29	6.5E+07	1.3E+08	3.29	1.9E+07	4.7E+07	3.18	4.9E+07	9.8E+07
72	3.36	6.7E+07	1.3E+08	3.22	4.6E+07	7.9E+07	3.34	6.5E+07	1.3E+08	3.34	1.9E+07	4.7E+07	3.23	4.9E+07	9.9E+07
73	3.41	6.7E+07	1.3E+08	3.27	4.6E+07	7.9E+07	3.39	6.5E+07	1.3E+08	3.39	1.9E+07	4.7E+07	3.28	4.9E+07	9.9E+07
74	3.46	6.8E+07	1.3E+08	3.32	4.6E+07	8.0E+07	3.45	6.5E+07	1.3E+08	3.44	1.9E+07	4.8E+07	3.33	4.9E+07	1.0E+08
75	3.52	6.8E+07	1.4E+08	3.38	4.6E+07	8.1E+07	3.50	6.5E+07	1.3E+08	3.50	1.9E+07	4.8E+07	3.39	4.9E+07	1.0E+08
76	3.57	6.8E+07	1.4E+08	3.43	4.6E+07	8.1E+07	3.55	6.5E+07	1.3E+08	3.55	1.9E+07	4.8E+07	3.44	4.9E+07	1.0E+08
77	3.63	6.8E+07	1.4E+08	3.48	4.6E+07	8.2E+07	3.61	6.5E+07	1.3E+08	3.61	1.9E+07	4.9E+07	3.50	4.9E+07	1.0E+08
78	3.68	6.8E+07	1.4E+08	3.54	4.6E+07	8.2E+07	3.67	6.5E+07	1.3E+08	3.67	1.9E+07	4.9E+07	3.55	4.9E+07	1.0E+08
79	3.74	6.8E+07	1.4E+08	3.60	4.6E+07	8.3E+07	3.72	6.5E+07	1.3E+08	3.72	1.9E+07	4.9E+07	3.61	4.9E+07	1.0E+08
80	3.80	6.8E+07	1.4E+08	3.65	4.6E+07	8.4E+07	3.78	6.5E+07	1.3E+08	3.78	1.9E+07	4.9E+07	3.66	4.9E+07	1.0E+08
81	3.86	6.8E+07	1.4E+08	3.71	4.6E+07	8.4E+07	3.84	6.5E+07	1.3E+08	3.84	1.9E+07	5.0E+07	3.72	5.0E+07	1.0E+08
82	3.92	6.8E+07	1.4E+08	3.77	4.6E+07	8.5E+07	3.90	6.5E+07	1.3E+08	3.90	1.9E+07	5.0E+07	3.78	5.0E+07	1.1E+08
83	3.98	6.8E+07	1.4E+08	3.83	4.6E+07	8.5E+07	3.96	6.5E+07	1.4E+08	3.96	1.9E+07	5.0E+07	3.84	5.0E+07	1.1E+08
84	4.04	6.8E+07	1.4E+08	3.89	4.6E+07	8.6E+07	4.02	6.5E+07	1.4E+08	4.02	1.9E+07	5.0E+07	3.90	5.0E+07	1.1E+08
85	4.10	6.8E+07	1.4E+08	3.95	4.6E+07	8.7E+07	4.08	6.5E+07	1.4E+08	4.09	1.9E+07	5.1E+07	3.96	5.0E+07	1.1E+08
86	4.17	6.8E+07	1.4E+08	4.01	4.6E+07	8.7E+07	4.15	6.5E+07	1.4E+08	4.15	1.9E+07	5.1E+07	4.03	5.0E+07	1.1E+08
87	4.23	6.8E+07	1.4E+08	4.08	4.6E+07	8.8E+07	4.21	6.5E+07	1.4E+08	4.22	1.9E+07	5.1E+07	4.09	5.0E+07	1.1E+08
88	4.30	6.8E+07	1.4E+08	4.14	4.6E+07	8.8E+07	4.28	6.5E+07	1.4E+08	4.28	1.9E+07	5.1E+07	4.16	5.0E+07	1.1E+08
89	4.36	6.8E+07	1.4E+08	4.21	4.6E+07	8.9E+07	4.34	6.5E+07	1.4E+08	4.35	1.9E+07	5.2E+07	4.22	5.0E+07	1.1E+08
90	4.43	6.8E+07	1.4E+08	4.27	4.6E+07	8.9E+07	4.41	6.5E+07	1.4E+08	4.42	1.9E+07	5.2E+07	4.29	5.0E+07	1.1E+08
91	4.50	6.8E+07	1.4E+08	4.34	4.6E+07	9.0E+07	4.48	6.5E+07	1.4E+08	4.49	1.9E+07	5.2E+07	4.36	5.0E+07	1.1E+08
92	4.57	6.8E+07	1.4E+08	4.41	4.6E+07	9.0E+07	4.55	6.5E+07	1.4E+08	4.56	1.9E+07	5.2E+07	4.43	5.0E+07	1.1E+08
93	4.64	6.8E+07	1.5E+08	4.48	4.6E+07	9.1E+07	4.62	6.5E+07	1.4E+08	4.63	1.9E+07	5.3E+07	4.50	5.0E+07	1.1E+08
94	4.72	6.8E+07	1.5E+08	4.55	4.6E+07	9.1E+07	4.69	6.5E+07	1.4E+08	4.70	1.9E+07	5.3E+07	4.57	5.0E+07	1.1E+08
95	4.79	6.8E+07	1.5E+08	4.62	4.6E+07	9.2E+07	4.76	6.5E+07	1.4E+08	4.77	1.9E+07	5.3E+07	4.64	5.0E+07	1.1E+08
96	4.86	6.8E+07	1.5E+08	4.69	4.6E+07	9.2E+07	4.84	6.							

APÉNDICE B

Canal	Diam. µm	Influente M1 12mayo2008		Diam. µm	Influente M2 19mayo2008		Diam. µm	Influente M3 26mayo2008		Diam. µm	Influente M4 2junio2008		Diam. µm	Influente Promedio	
		Número /mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número /mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número /mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número /mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número/ mL	µm <sup>3</sup> / mL
112	6.23	6.8E+07	1.6E+08	6.03	4.6E+07	1.0E+08	6.19	6.6E+07	1.5E+08	6.22	1.9E+07	5.9E+07	6.06	5.0E+07	1.3E+08
113	6.33	6.8E+07	1.6E+08	6.13	4.6E+07	1.0E+08	6.29	6.6E+07	1.5E+08	6.32	1.9E+07	5.9E+07	6.16	5.0E+07	1.3E+08
114	6.43	6.8E+07	1.6E+08	6.22	4.6E+07	1.0E+08	6.38	6.6E+07	1.5E+08	6.42	1.9E+07	6.0E+07	6.26	5.0E+07	1.3E+08
115	6.53	6.8E+07	1.6E+08	6.32	4.6E+07	1.0E+08	6.48	6.6E+07	1.5E+08	6.52	1.9E+07	6.0E+07	6.36	5.0E+07	1.3E+08
116	6.63	6.8E+07	1.6E+08	6.42	4.6E+07	1.0E+08	6.58	6.6E+07	1.5E+08	6.62	1.9E+07	6.1E+07	6.46	5.0E+07	1.3E+08
117	6.73	6.8E+07	1.6E+08	6.52	4.6E+07	1.0E+08	6.69	6.6E+07	1.5E+08	6.72	1.9E+07	6.1E+07	6.56	5.0E+07	1.3E+08
118	6.84	6.8E+07	1.6E+08	6.63	4.6E+07	1.0E+08	6.79	6.6E+07	1.5E+08	6.83	1.9E+07	6.2E+07	6.66	5.0E+07	1.3E+08
119	6.94	6.8E+07	1.6E+08	6.73	4.6E+07	1.1E+08	6.89	6.6E+07	1.6E+08	6.94	1.9E+07	6.3E+07	6.77	5.0E+07	1.3E+08
120	7.05	6.8E+07	1.6E+08	6.84	4.6E+07	1.1E+08	7.00	6.6E+07	1.6E+08	7.04	1.9E+07	6.3E+07	6.88	5.0E+07	1.3E+08
121	7.16	6.8E+07	1.6E+08	6.95	4.6E+07	1.1E+08	7.11	6.6E+07	1.6E+08	7.15	1.9E+07	6.4E+07	6.98	5.0E+07	1.3E+08
122	7.27	6.8E+07	1.6E+08	7.06	4.6E+07	1.1E+08	7.22	6.6E+07	1.6E+08	7.27	1.9E+07	6.4E+07	7.10	5.0E+07	1.3E+08
123	7.38	6.8E+07	1.6E+08	7.17	4.6E+07	1.1E+08	7.33	6.6E+07	1.6E+08	7.38	1.9E+07	6.5E+07	7.21	5.0E+07	1.3E+08
124	7.50	6.8E+07	1.7E+08	7.28	4.6E+07	1.1E+08	7.45	6.6E+07	1.6E+08	7.50	1.9E+07	6.5E+07	7.32	5.0E+07	1.3E+08
125	7.62	6.8E+07	1.7E+08	7.40	4.6E+07	1.1E+08	7.56	6.6E+07	1.6E+08	7.61	1.9E+07	6.6E+07	7.44	5.0E+07	1.4E+08
126	7.74	6.8E+07	1.7E+08	7.51	4.6E+07	1.1E+08	7.68	6.6E+07	1.6E+08	7.73	1.9E+07	6.7E+07	7.56	5.0E+07	1.4E+08
127	7.86	6.8E+07	1.7E+08	7.63	4.6E+07	1.1E+08	7.80	6.6E+07	1.6E+08	7.85	1.9E+07	6.7E+07	7.68	5.0E+07	1.4E+08
128	7.98	6.8E+07	1.7E+08	7.75	4.6E+07	1.1E+08	7.92	6.6E+07	1.6E+08	7.98	1.9E+07	6.8E+07	7.80	5.0E+07	1.4E+08
129	8.10	6.8E+07	1.7E+08	7.88	4.6E+07	1.1E+08	8.04	6.6E+07	1.6E+08	8.10	1.9E+07	6.8E+07	7.92	5.0E+07	1.4E+08
130	8.23	6.8E+07	1.7E+08	8.00	4.6E+07	1.1E+08	8.17	6.6E+07	1.7E+08	8.23	1.9E+07	6.9E+07	8.05	5.0E+07	1.4E+08
131	8.36	6.8E+07	1.7E+08	8.13	4.6E+07	1.1E+08	8.30	6.6E+07	1.7E+08	8.36	1.9E+07	6.9E+07	8.17	5.0E+07	1.4E+08
132	8.49	6.8E+07	1.7E+08	8.26	4.6E+07	1.1E+08	8.42	6.6E+07	1.7E+08	8.49	1.9E+07	7.0E+07	8.30	5.0E+07	1.4E+08
133	8.62	6.8E+07	1.7E+08	8.39	4.6E+07	1.1E+08	8.55	6.6E+07	1.7E+08	8.62	1.9E+07	7.1E+07	8.44	5.0E+07	1.4E+08
134	8.75	6.8E+07	1.7E+08	8.52	4.6E+07	1.1E+08	8.69	6.6E+07	1.7E+08	8.76	1.9E+07	7.2E+07	8.57	5.0E+07	1.4E+08
135	8.89	6.8E+07	1.7E+08	8.65	4.6E+07	1.2E+08	8.82	6.6E+07	1.7E+08	8.90	1.9E+07	7.2E+07	8.71	5.0E+07	1.4E+08
136	9.03	6.8E+07	1.8E+08	8.79	4.6E+07	1.2E+08	8.96	6.6E+07	1.7E+08	9.03	1.9E+07	7.3E+07	8.84	5.0E+07	1.4E+08
137	9.17	6.8E+07	1.8E+08	8.93	4.6E+07	1.2E+08	9.10	6.6E+07	1.7E+08	9.18	1.9E+07	7.4E+07	8.98	5.0E+07	1.4E+08
138	9.31	6.8E+07	1.8E+08	9.07	4.6E+07	1.2E+08	9.24	6.6E+07	1.7E+08	9.32	1.9E+07	7.5E+07	9.13	5.0E+07	1.5E+08
139	9.46	6.8E+07	1.8E+08	9.21	4.6E+07	1.2E+08	9.38	6.6E+07	1.7E+08	9.47	1.9E+07	7.6E+07	9.27	5.0E+07	1.5E+08
140	9.61	6.8E+07	1.8E+08	9.36	4.6E+07	1.2E+08	9.53	6.6E+07	1.7E+08	9.61	1.9E+07	7.7E+07	9.42	5.0E+07	1.5E+08
141	9.75	6.8E+07	1.8E+08	9.51	4.6E+07	1.2E+08	9.68	6.6E+07	1.8E+08	9.77	1.9E+07	7.7E+07	9.57	5.0E+07	1.5E+08
142	9.91	6.8E+07	1.8E+08	9.66	4.6E+07	1.2E+08	9.83	6.6E+07	1.8E+08	9.92	1.9E+07	7.8E+07	9.72	5.0E+07	1.5E+08
143	10.06	6.8E+07	1.8E+08	9.81	4.6E+07	1.2E+08	9.98	6.6E+07	1.8E+08	10.07	1.9E+07	7.9E+07	9.87	5.0E+07	1.5E+08
144	10.22	6.8E+07	1.8E+08	9.97	4.6E+07	1.2E+08	10.13	6.6E+07	1.8E+08	10.23	1.9E+07	8.0E+07	10.03	5.0E+07	1.5E+08
145	10.38	6.8E+07	1.8E+08	10.12	4.6E+07	1.2E+08	10.29	6.6E+07	1.8E+08	10.39	1.9E+07	8.1E+07	10.19	5.0E+07	1.5E+08
146	10.54	6.8E+07	1.8E+08	10.28	4.6E+07	1.2E+08	10.45	6.6E+07	1.8E+08	10.56	1.9E+07	8.2E+07	10.35	5.0E+07	1.5E+08
147	10.70	6.8E+07	1.9E+08	10.45	4.6E+07	1.2E+08	10.61	6.6E+07	1.8E+08	10.72	1.9E+07	8.3E+07	10.51	5.0E+07	1.5E+08
148	10.87	6.8E+07	1.9E+08	10.61	4.6E+07	1.2E+08	10.78	6.6E+07	1.8E+08	10.89	1.9E+07	8.3E+07	10.68	5.0E+07	1.5E+08
149	11.04	6.8E+07	1.9E+08	10.78	4.6E+07	1.2E+08	10.95	6.6E+07	1.8E+08	11.06	1.9E+07	8.4E+07	10.85	5.0E+07	1.5E+08
150	11.21	6.8E+07	1.9E+08	10.95	4.6E+07	1.2E+08	11.12	6.6E+07	1.8E+08	11.23	1.9E+07	8.5E+07	11.02	5.0E+07	1.6E+08
151	11.39	6.8E+07	1.9E+08	11.12	4.6E+07	1.3E+08	11.29	6.6E+07	1.8E+08	11.41	1.9E+07	8.6E+07	11.20	5.0E+07	1.6E+08
152	11.56	6.8E+07	1.9E+08	11.30	4.6E+07	1.3E+08	11.46	6.6E+07	1.9E+08	11.59	1.9E+07	8.7E+07	11.37	5.0E+07	1.6E+08
153	11.74	6.8E+07	1.9E+08	11.48	4.6E+07	1.3E+08	11.64	6.6E+07	1.9E+08	11.77	1.9E+07	8.7E+07	11.55	5.0E+07	1.6E+08
154	11.93	6.8E+07	1.9E+08	11.66	4.6E+07	1.3E+08	11.82	6.6E+07	1.9E+08	11.95	1.9E+07	8.8E+07	11.74	5.0E+07	1.6E+08
155	12.11	6.8E+07	1.9E+08	11.84	4.6E+07	1.3E+08	12.01	6.6E+07	1.9E+08	12.14	1.9E+07	8.9E+07	11.92	5.0E+07	1.6E+08
156	12.30	6.8E+07	1.9E+08	12.03	4.6E+07	1.3E+08	12.19	6.6E+07	1.9E+08	12.33	1.9E+07	9.0E+07	12.11	5.0E+07	1.6E+08
157	12.49	6.8E+07	1.9E+08	12.22	4.6E+07	1.3E+08	12.38	6.6E+07	1.9E+08	12.52	1.9E+07	9.1E+07	12.30	5.0E+07	1.6E+08
158	12.69	6.8E+07	2.0E+08	12.41	4.6E+07	1.3E+08	12.57	6.6E+07	1.9E+08	12.72	1.9E+07	9.1E+07	12.50	5.0E+07	1.6E+08
159	12.89	6.8E+07	2.0E+08	12.61	4.6E+07	1.3E+08	12.77	6.6E+07	1.9E+08	12.92	1.9E+07	9.2E+07	12.70	5.0E+07	1.6E+08
160	13.09	6.8E+07	2.0E+08	12.81	4.6E+07	1.3E+08	12.97	6.6E+07	1.9E+08	13.12	1.9E+07	9.3E+07	12.90	5.0E+07	1.6E+08
161	13.29	6.8E+07	2.0E+08	13.01	4.6E+07	1.3E+08	13.17	6.6E+07	1.9E+08	13.33	1.9E+07	9.4E+07	13.10	5.0E+07	1.6E+08
162	13.50	6.8E+07	2.0E+08	13.22	4.6E+07	1.3E+08	13.37	6.6E+07	1.9E+08	13.54	1.9E+07	9.5E+07	13.31	5.0E+07	1.6E+08
163	13.71	6.8E+07	2.0E+08	13.43	4.6E+07	1.3E+08	13.58	6.6E+07	1.9E+08	13.75	1.9E+07	9.5E+07	13.52	5.0E+07	1.6E+08
164	13.92	6.8E+07	2.0E+08	13.64	4.6E+07	1.3E+08	13.79	6.6E+07	2.0E+08	13.97	1.9E+07	9.6E+07	13.74	5.0E+07	1.7E+08
165	14.14	6.8E+07	2.0E+08	13.85	4.6E+07	1.3E+08	14.01	6.6E+07	2.0E+08	14.18	1.9E+07	9.7E+07	13.95	5.0E+07	1.7E+08
166	14.36	6.8E+07	2.0E+08	14.07	4.6E+07	1.3E+08	14.22	6.6E+07	2.0E+08	14.41	1.9E+07	9.8E+07	14.18	5.0E+07	1.7E+08
167	14.58	6.8E+07	2.1E+08	14.30	4.6E+07	1.3E+08	14.44	6.6E+07	2.0E+08	14.63	1.9E+07	9.9E+07	14.40	5.0E+07	1.7E+08
168	14.81	6.8E+07	2.1E+08	14.52	4.6E+07	1.3E+08	14.67	6.6E+07	2.0E+08	14.86	1.9E+07	9.9E+07	14.63	5.0E+07	1.7E+08
169	15.04	6.8E+07	2.1E+08	14.75	4.6E+07	1.3E+08	14.90	6.6E+07	2.0E+08	15.09	1.9E+07	1.0E+08	14.86	5.0E+07	1.7E+08
170	15.28	6.8E+07	2.1E+08	14.98	4.6E+07	1.4E+08	15.13	6.6E+07	2.0E+08	15.33	1.9E+07	1.0E+08	15.10	5.0E+07	1.7E+08
171	15.51	6.8E+07	2.1E+08	15.22	4.6E+07	1.4E+08	15.36	6.6E+07	2.0E+08	15.57	1.9E+07	1.0E+08	15.34	5.0E+07	1.7E+08
172	15.76	6.8E+07	2.1E+08	15.46	4.6E+07	1.4E+08	15.60	6.6E+07	2.0E+08	15.82	1.9E+07	1.0E+08	15.58	5.0E+07	1.7E+08
173	16.00	6.8E+07	2.1E+08	15.71	4.6E+07	1.4E+08	15.84	6.6E+07	2.0E+08	16.06	1.9E+07	1.0E+08	15.83	5.0E+07	1.7E+08
174	16.25	6.8E+07	2.1E+08	15.95	4.6E+07	1.4E+08	16.09	6.6E+07	2.0E+08	16.32	1.9E+07	1.0E+08	16.08	5.0E+07	1.7E+08
175	16.50	6.8E+07	2.1E+08	16.21	4.6E+07	1.4E+08	16.34	6.6E+07	2.0E+08	16.57	1.9E+07	1.0E+08	16.33	5.0E+07	1.7E+08
176	16.76	6.8E+07	2.2E+08	16.46	4.6E+07	1.4E+08	16.59	6.6E+07	2.1E+08	16.83	1.9E+07	1.1E+08	16.59	5.0E+07	1.7E+08
177	17.02	6.8E+07	2.2E+08	16.72	4.6E+07	1.4E+08	16.85	6.6E+07	2.1E+08	17.09	1.9E+07	1.1E+08	16.85	5.0E+07	1.7E+08
17															

Canal	Diam. µm	Influente M1 12 mayo 2008		Diam. µm	Influente M2 19 mayo 2008		Diam. µm	Influente M3 26 mayo 2008		Diam. µm	Influente M4 2 junio 2008		Diam. µm	Influente Promedio	
		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL
195	22.49	6.8E+07	2.5E+08	22.18	4.6E+07	1.5E+08	22.24	6.6E+07	2.2E+08	22.62	1.9E+07	1.2E+08	22.37	5.0E+07	1.9E+08
196	22.84	6.8E+07	2.5E+08	22.53	4.6E+07	1.5E+08	22.58	6.6E+07	2.2E+08	22.97	1.9E+07	1.2E+08	22.72	5.0E+07	1.9E+08
197	23.19	6.8E+07	2.5E+08	22.89	4.6E+07	1.5E+08	22.93	6.6E+07	2.2E+08	23.33	1.9E+07	1.2E+08	23.09	5.0E+07	1.9E+08
198	23.55	6.8E+07	2.5E+08	23.25	4.6E+07	1.5E+08	23.29	6.6E+07	2.2E+08	23.70	1.9E+07	1.2E+08	23.45	5.0E+07	1.9E+08
199	23.92	6.8E+07	2.5E+08	23.61	4.6E+07	1.5E+08	23.65	6.6E+07	2.2E+08	24.07	1.9E+07	1.2E+08	23.82	5.0E+07	1.9E+08
200	24.29	6.8E+07	2.5E+08	23.99	4.6E+07	1.5E+08	24.02	6.6E+07	2.2E+08	24.45	1.9E+07	1.2E+08	24.20	5.0E+07	1.9E+08
201	24.67	6.8E+07	2.5E+08	24.37	4.6E+07	1.5E+08	24.39	6.6E+07	2.2E+08	24.83	1.9E+07	1.2E+08	24.58	5.0E+07	1.9E+08
202	25.06	6.8E+07	2.5E+08	24.75	4.6E+07	1.5E+08	24.77	6.6E+07	2.3E+08	25.22	1.9E+07	1.2E+08	24.97	5.0E+07	1.9E+08
203	25.45	6.8E+07	2.5E+08	25.14	4.6E+07	1.5E+08	25.15	6.6E+07	2.3E+08	25.61	1.9E+07	1.2E+08	25.37	5.0E+07	1.9E+08
204	25.84	6.8E+07	2.5E+08	25.54	4.6E+07	1.5E+08	25.54	6.6E+07	2.3E+08	26.02	1.9E+07	1.3E+08	25.77	5.0E+07	1.9E+08
205	26.25	6.8E+07	2.6E+08	25.95	4.6E+07	1.5E+08	25.94	6.6E+07	2.3E+08	26.42	1.9E+07	1.3E+08	26.18	5.0E+07	1.9E+08
206	26.65	6.8E+07	2.6E+08	26.36	4.6E+07	1.5E+08	26.34	6.6E+07	2.3E+08	26.84	1.9E+07	1.3E+08	26.60	5.0E+07	1.9E+08
207	27.07	6.8E+07	2.6E+08	26.77	4.6E+07	1.5E+08	26.75	6.6E+07	2.3E+08	27.26	1.9E+07	1.3E+08	27.02	5.0E+07	1.9E+08
208	27.49	6.8E+07	2.6E+08	27.20	4.6E+07	1.5E+08	27.17	6.6E+07	2.3E+08	27.69	1.9E+07	1.3E+08	27.45	5.0E+07	2.0E+08
209	27.92	6.8E+07	2.6E+08	27.63	4.6E+07	1.5E+08	27.59	6.6E+07	2.3E+08	28.12	1.9E+07	1.3E+08	27.88	5.0E+07	2.0E+08
210	28.36	6.8E+07	2.6E+08	28.06	4.6E+07	1.5E+08	28.02	6.6E+07	2.3E+08	28.56	1.9E+07	1.3E+08	28.32	5.0E+07	2.0E+08
211	28.80	6.8E+07	2.6E+08	28.51	4.6E+07	1.5E+08	28.45	6.6E+07	2.3E+08	29.01	1.9E+07	1.3E+08	28.77	5.0E+07	2.0E+08
212	29.25	6.8E+07	2.6E+08	28.96	4.6E+07	1.6E+08	28.89	6.6E+07	2.3E+08	29.46	1.9E+07	1.3E+08	29.23	5.0E+07	2.0E+08
213	29.70	6.8E+07	2.6E+08	29.41	4.6E+07	1.6E+08	29.34	6.6E+07	2.3E+08	29.92	1.9E+07	1.3E+08	29.69	5.0E+07	2.0E+08
214	30.17	6.8E+07	2.6E+08	29.88	4.6E+07	1.6E+08	29.80	6.6E+07	2.3E+08	30.39	1.9E+07	1.3E+08	30.16	5.0E+07	2.0E+08
215	30.64	6.8E+07	2.6E+08	30.35	4.6E+07	1.6E+08	30.26	6.6E+07	2.3E+08	30.87	1.9E+07	1.3E+08	30.64	5.0E+07	2.0E+08
216	31.11	6.8E+07	2.6E+08	30.83	4.6E+07	1.6E+08	30.73	6.6E+07	2.3E+08	31.35	1.9E+07	1.3E+08	31.13	5.0E+07	2.0E+08
217	31.60	6.8E+07	2.6E+08	31.32	4.6E+07	1.6E+08	31.21	6.6E+07	2.3E+08	31.85	1.9E+07	1.3E+08	31.62	5.0E+07	2.0E+08
218	32.09	6.8E+07	2.6E+08	31.81	4.6E+07	1.6E+08	31.69	6.6E+07	2.3E+08	32.34	1.9E+07	1.3E+08	32.12	5.0E+07	2.0E+08
219	32.59	6.8E+07	2.6E+08	32.32	4.6E+07	1.6E+08	32.18	6.6E+07	2.4E+08	32.85	1.9E+07	1.3E+08	32.63	5.0E+07	2.0E+08
220	33.10	6.8E+07	2.6E+08	32.83	4.6E+07	1.6E+08	32.68	6.6E+07	2.4E+08	33.37	1.9E+07	1.3E+08	33.15	5.0E+07	2.0E+08
221	33.61	6.8E+07	2.6E+08	33.35	4.6E+07	1.6E+08	33.19	6.6E+07	2.4E+08	33.89	1.9E+07	1.3E+08	33.67	5.0E+07	2.0E+08
222	34.14	6.8E+07	2.6E+08	33.87	4.6E+07	1.6E+08	33.71	6.6E+07	2.4E+08	34.42	1.9E+07	1.3E+08	34.21	5.0E+07	2.0E+08
223	34.67	6.8E+07	2.6E+08	34.41	4.6E+07	1.6E+08	34.23	6.6E+07	2.4E+08	34.96	1.9E+07	1.4E+08	34.75	5.0E+07	2.0E+08
224	35.21	6.8E+07	2.6E+08	34.95	4.6E+07	1.6E+08	34.76	6.6E+07	2.4E+08	35.51	1.9E+07	1.4E+08	35.30	5.0E+07	2.0E+08
225	35.76	6.8E+07	2.6E+08	35.51	4.6E+07	1.6E+08	35.30	6.6E+07	2.4E+08	36.06	1.9E+07	1.4E+08	35.86	5.0E+07	2.0E+08
226	36.32	6.8E+07	2.6E+08	36.07	4.6E+07	1.6E+08	35.85	6.6E+07	2.4E+08	36.63	1.9E+07	1.4E+08	36.43	5.0E+07	2.0E+08
227	36.88	6.8E+07	2.6E+08	36.64	4.6E+07	1.6E+08	36.41	6.6E+07	2.4E+08	37.20	1.9E+07	1.4E+08	37.01	5.0E+07	2.0E+08
228	37.46	6.8E+07	2.7E+08	37.22	4.6E+07	1.6E+08	36.97	6.6E+07	2.4E+08	37.79	1.9E+07	1.4E+08	37.59	5.0E+07	2.0E+08
229	38.04	6.8E+07	2.7E+08	37.81	4.6E+07	1.6E+08	37.55	6.6E+07	2.4E+08	38.38	1.9E+07	1.4E+08	38.19	5.0E+07	2.0E+08
230	38.63	6.8E+07	2.7E+08	38.40	4.6E+07	1.6E+08	38.13	6.6E+07	2.4E+08	38.98	1.9E+07	1.4E+08	38.79	5.0E+07	2.0E+08
231	39.24	6.8E+07	2.7E+08	39.01	4.6E+07	1.6E+08	38.72	6.6E+07	2.4E+08	39.59	1.9E+07	1.4E+08	39.41	5.0E+07	2.0E+08
232	39.85	6.8E+07	2.7E+08	39.63	4.6E+07	1.6E+08	39.32	6.6E+07	2.4E+08	40.21	1.9E+07	1.4E+08	40.03	5.0E+07	2.0E+08
233	40.47	6.8E+07	2.7E+08	40.25	4.6E+07	1.6E+08	39.93	6.6E+07	2.4E+08	40.84	1.9E+07	1.4E+08	40.67	5.0E+07	2.0E+08
234	41.10	6.8E+07	2.7E+08	40.89	4.6E+07	1.6E+08	40.55	6.6E+07	2.4E+08	41.48	1.9E+07	1.4E+08	41.31	5.0E+07	2.0E+08
235	41.74	6.8E+07	2.7E+08	41.54	4.6E+07	1.6E+08	41.18	6.6E+07	2.4E+08	42.13	1.9E+07	1.4E+08	41.97	5.0E+07	2.0E+08
236	42.39	6.8E+07	2.7E+08	42.19	4.6E+07	1.6E+08	41.82	6.6E+07	2.4E+08	42.79	1.9E+07	1.4E+08	42.63	5.0E+07	2.0E+08
237	43.05	6.8E+07	2.7E+08	42.86	4.6E+07	1.6E+08	42.47	6.6E+07	2.4E+08	43.46	1.9E+07	1.4E+08	43.31	5.0E+07	2.0E+08
238	43.72	6.8E+07	2.7E+08	43.54	4.6E+07	1.6E+08	43.13	6.6E+07	2.4E+08	44.15	1.9E+07	1.4E+08	44.00	5.0E+07	2.0E+08
239	44.40	6.8E+07	2.7E+08	44.23	4.6E+07	1.6E+08	43.80	6.6E+07	2.4E+08	44.84	1.9E+07	1.4E+08	44.70	5.0E+07	2.1E+08
240	45.10	6.8E+07	2.7E+08	44.93	4.6E+07	1.6E+08	44.48	6.6E+07	2.4E+08	45.54	1.9E+07	1.4E+08	45.40	5.0E+07	2.1E+08
241	45.80	6.8E+07	2.7E+08	45.64	4.6E+07	1.6E+08	45.17	6.6E+07	2.4E+08	46.25	1.9E+07	1.4E+08	46.12	5.0E+07	2.1E+08
242	46.51	6.8E+07	2.7E+08	46.36	4.6E+07	1.6E+08	45.87	6.6E+07	2.4E+08	46.98	1.9E+07	1.4E+08	46.85	5.0E+07	2.1E+08
243	47.24	6.8E+07	2.7E+08	47.09	4.6E+07	1.6E+08	46.58	6.6E+07	2.4E+08	47.72	1.9E+07	1.4E+08	47.60	5.0E+07	2.1E+08
244	47.97	6.8E+07	2.7E+08	47.83	4.6E+07	1.6E+08	47.31	6.6E+07	2.4E+08	48.46	1.9E+07	1.4E+08	48.35	5.0E+07	2.1E+08
245	48.72	6.8E+07	2.7E+08	48.59	4.6E+07	1.6E+08	48.04	6.6E+07	2.4E+08	49.22	1.9E+07	1.4E+08	49.12	5.0E+07	2.1E+08
246	49.48	6.8E+07	2.7E+08	49.36	4.6E+07	1.6E+08	48.79	6.6E+07	2.4E+08	50.00	1.9E+07	1.4E+08	49.90	5.0E+07	2.1E+08
247	50.25	6.8E+07	2.7E+08	50.14	4.6E+07	1.6E+08	49.54	6.6E+07	2.4E+08	50.78	1.9E+07	1.4E+08	50.69	5.0E+07	2.1E+08
248	51.03	6.8E+07	2.7E+08	50.93	4.6E+07	1.6E+08	50.31	6.6E+07	2.4E+08	51.57	1.9E+07	1.4E+08	51.49	5.0E+07	2.1E+08
249	51.83	6.8E+07	2.7E+08	51.74	4.6E+07	1.6E+08	51.10	6.6E+07	2.4E+08	52.38	1.9E+07	1.4E+08	52.31	5.0E+07	2.1E+08
250	52.64	6.8E+07	2.7E+08	52.56	4.6E+07	1.6E+08	51.89	6.6E+07	2.4E+08	53.20	1.9E+07	1.4E+08	53.14	5.0E+07	2.1E+08
251	53.46	6.8E+07	2.7E+08	53.39	4.6E+07	1.6E+08	52.69	6.6E+07	2.4E+08	54.04	1.9E+07	1.4E+08	53.98	5.0E+07	2.1E+08
252	54.29	6.8E+07	2.7E+08	54.23	4.6E+07	1.6E+08	53.51	6.6E+07	2.4E+08	54.89	1.9E+07	1.4E+08	54.84	5.0E+07	2.1E+08
253	55.14	6.8E+07	2.7E+08	55.09	4.6E+07	1.6E+08	54.34	6.6E+07	2.4E+08	55.75	1.9E+07	1.4E+08	55.71	5.0E+07	2.1E+08
254	56.00	6.8E+07	2.7E+08	55.96	4.6E+07	1.6E+08	55.19	6.6E+07	2.4E+08	56.62	1.9E+07	1.4E+08	56.59	5.0E+07	2.1E+08
255	56.87	6.8E+07	2.7E+08	56.84	4.6E+07	1.6E+08	56.04	6.6E+07	2.4E+08	57.51	1.9E+07	1.4E+08	57.49	5.0E+07	2.1E+08
256	57.75	6.8E+07	2.7E+08	57.74	4.6E+07	1.6E+08	56.91	6.6E+07	2.4E+08	58.41	1.9E+07	1.4E+08	58.40	5.0E+07	2.1E+08
	58.65	6.8E+07	2.7E+08	58.65	4.6E+07	1.6E+08	57.80	6.6E+07	2.4E+08	59.32	1.9E+07	1.4E+08	59.32	5.0E+07	2.1E+08

**Tabla B3 Distribución de tamaño de partícula promedio para los discos biológicos**

Canal	Diam	Efluente M1 12 mayo 2008		Diam	Efluente M2 19 mayo 2008		Diam	Efluente M3 26 mayo 2008		Diam	Efluente M4 2 junio 2008		Diam	Efl. Biodiscos Promedio	
		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL

APÉNDICE B

Canal	Diam µm	Efluente M1 12mayo2008		Diam µm	Efluente M2 19mayo2008		Diam µm	Efluente M3 26mayo2008		Diam µm	Efluente M4 2junio2008		Diam µm	Efl Biodiscos Promedio	
		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número /mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número /mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL
11	1.31	4.5E+05	4.2E+05	1.23	3.9E+05	3.0E+05	1.42	1.0E+06	1.2E+06	1.29	9.7E+04	8.6E+04	1.31	3.5E+05	3.4E+05
12	1.33	4.9E+05	4.7E+05	1.25	4.2E+05	3.4E+05	1.45	1.1E+06	1.3E+06	1.31	1.1E+05	9.6E+04	1.33	4.0E+05	4.0E+05
13	1.35	5.3E+05	5.2E+05	1.27	4.5E+05	3.7E+05	1.47	1.2E+06	1.5E+06	1.33	1.1E+05	1.0E+05	1.35	4.5E+05	4.6E+05
14	1.37	5.7E+05	5.7E+05	1.29	4.8E+05	4.0E+05	1.49	1.2E+06	1.6E+06	1.35	1.2E+05	1.1E+05	1.37	4.9E+05	5.2E+05
15	1.39	6.1E+05	6.2E+05	1.31	5.1E+05	4.3E+05	1.51	1.3E+06	1.7E+06	1.37	1.2E+05	1.2E+05	1.39	5.3E+05	5.7E+05
16	1.41	6.4E+05	6.7E+05	1.33	5.3E+05	4.6E+05	1.54	1.4E+06	1.8E+06	1.40	1.3E+05	1.3E+05	1.41	5.7E+05	6.3E+05
17	1.43	6.8E+05	7.3E+05	1.35	5.6E+05	4.9E+05	1.56	1.4E+06	2.0E+06	1.42	1.3E+05	1.3E+05	1.43	6.1E+05	6.9E+05
18	1.46	7.1E+05	7.8E+05	1.37	5.8E+05	5.2E+05	1.58	1.5E+06	2.1E+06	1.44	1.4E+05	1.4E+05	1.46	6.5E+05	7.5E+05
19	1.48	7.4E+05	8.3E+05	1.39	6.1E+05	5.6E+05	1.61	1.6E+06	2.2E+06	1.46	1.4E+05	1.5E+05	1.48	6.8E+05	8.1E+05
20	1.50	7.8E+05	8.9E+05	1.42	6.3E+05	5.9E+05	1.63	1.6E+06	2.3E+06	1.48	1.5E+05	1.6E+05	1.50	7.2E+05	8.6E+05
21	1.53	8.0E+05	9.4E+05	1.44	6.5E+05	6.2E+05	1.65	1.7E+06	2.5E+06	1.51	1.6E+05	1.7E+05	1.53	7.5E+05	9.2E+05
22	1.55	8.3E+05	9.9E+05	1.46	6.7E+05	6.5E+05	1.68	1.7E+06	2.6E+06	1.53	1.6E+05	1.8E+05	1.55	7.8E+05	9.8E+05
23	1.57	8.5E+05	1.0E+06	1.48	6.9E+05	6.8E+05	1.71	1.8E+06	2.7E+06	1.56	1.7E+05	1.9E+05	1.57	8.1E+05	1.0E+06
24	1.60	8.9E+05	1.1E+06	1.51	7.0E+05	7.1E+05	1.73	1.8E+06	2.9E+06	1.58	1.7E+05	2.0E+05	1.60	8.4E+05	1.1E+06
25	1.62	9.1E+05	1.2E+06	1.53	7.1E+05	7.3E+05	1.76	1.9E+06	3.0E+06	1.60	1.8E+05	2.2E+05	1.62	8.6E+05	1.2E+06
26	1.65	9.4E+05	1.2E+06	1.55	7.3E+05	7.6E+05	1.78	1.9E+06	3.1E+06	1.63	1.8E+05	2.3E+05	1.65	8.9E+05	1.2E+06
27	1.68	9.6E+05	1.3E+06	1.58	7.5E+05	7.9E+05	1.81	1.9E+06	3.2E+06	1.65	1.9E+05	2.4E+05	1.68	9.1E+05	1.3E+06
28	1.70	9.8E+05	1.3E+06	1.60	7.6E+05	8.3E+05	1.84	2.0E+06	3.3E+06	1.68	1.9E+05	2.5E+05	1.70	9.4E+05	1.3E+06
29	1.73	1.0E+06	1.4E+06	1.63	7.7E+05	8.6E+05	1.87	2.0E+06	3.5E+06	1.71	2.0E+05	2.6E+05	1.73	9.6E+05	1.4E+06
30	1.76	1.0E+06	1.4E+06	1.65	7.9E+05	8.9E+05	1.89	2.1E+06	3.6E+06	1.73	2.0E+05	2.7E+05	1.76	9.8E+05	1.5E+06
31	1.78	1.0E+06	1.5E+06	1.68	8.1E+05	9.4E+05	1.92	2.1E+06	3.7E+06	1.76	2.1E+05	2.8E+05	1.78	1.0E+06	1.5E+06
32	1.81	1.1E+06	1.6E+06	1.70	8.2E+05	9.8E+05	1.95	2.1E+06	3.8E+06	1.79	2.1E+05	3.0E+05	1.81	1.0E+06	1.6E+06
33	1.84	1.1E+06	1.6E+06	1.73	8.4E+05	1.0E+06	1.98	2.2E+06	4.0E+06	1.82	2.2E+05	3.2E+05	1.84	1.0E+06	1.6E+06
34	1.87	1.1E+06	1.7E+06	1.76	8.4E+05	1.0E+06	2.01	2.2E+06	4.1E+06	1.84	2.2E+05	3.3E+05	1.87	1.1E+06	1.7E+06
35	1.90	1.1E+06	1.8E+06	1.78	8.6E+05	1.1E+06	2.04	2.2E+06	4.2E+06	1.87	2.2E+05	3.4E+05	1.90	1.1E+06	1.8E+06
36	1.93	1.1E+06	1.8E+06	1.81	8.7E+05	1.1E+06	2.07	2.2E+06	4.3E+06	1.90	2.3E+05	3.6E+05	1.93	1.1E+06	1.8E+06
37	1.96	1.2E+06	1.9E+06	1.84	8.8E+05	1.1E+06	2.10	2.3E+06	4.4E+06	1.93	2.3E+05	3.7E+05	1.96	1.1E+06	1.9E+06
38	1.99	1.2E+06	2.0E+06	1.87	8.9E+05	1.2E+06	2.14	2.3E+06	4.6E+06	1.96	2.4E+05	3.8E+05	1.99	1.1E+06	1.9E+06
39	2.02	1.2E+06	2.0E+06	1.90	8.9E+05	1.2E+06	2.17	2.3E+06	4.7E+06	1.99	2.4E+05	4.0E+05	2.02	1.1E+06	2.0E+06
40	2.05	1.2E+06	2.1E+06	1.93	9.0E+05	1.2E+06	2.20	2.3E+06	4.8E+06	2.02	2.4E+05	4.1E+05	2.05	1.2E+06	2.1E+06
41	2.08	1.2E+06	2.2E+06	1.96	9.1E+05	1.3E+06	2.23	2.4E+06	4.9E+06	2.05	2.5E+05	4.3E+05	2.08	1.2E+06	2.1E+06
42	2.11	1.2E+06	2.2E+06	1.99	9.2E+05	1.3E+06	2.27	2.4E+06	5.1E+06	2.09	2.5E+05	4.4E+05	2.11	1.2E+06	2.2E+06
43	2.15	1.3E+06	2.3E+06	2.02	9.3E+05	1.3E+06	2.30	2.4E+06	5.2E+06	2.12	2.5E+05	4.6E+05	2.15	1.2E+06	2.3E+06
44	2.18	1.3E+06	2.4E+06	2.05	9.3E+05	1.3E+06	2.34	2.4E+06	5.3E+06	2.15	2.6E+05	4.7E+05	2.18	1.2E+06	2.3E+06
45	2.21	1.3E+06	2.5E+06	2.08	9.4E+05	1.4E+06	2.37	2.4E+06	5.5E+06	2.19	2.6E+05	4.9E+05	2.21	1.2E+06	2.4E+06
46	2.25	1.3E+06	2.5E+06	2.11	9.5E+05	1.4E+06	2.41	2.5E+06	5.6E+06	2.22	2.6E+05	5.0E+05	2.25	1.2E+06	2.5E+06
47	2.28	1.3E+06	2.6E+06	2.15	9.5E+05	1.4E+06	2.45	2.5E+06	5.7E+06	2.25	2.7E+05	5.2E+05	2.28	1.2E+06	2.5E+06
48	2.32	1.3E+06	2.7E+06	2.18	9.6E+05	1.5E+06	2.48	2.5E+06	5.9E+06	2.29	2.7E+05	5.4E+05	2.32	1.3E+06	2.6E+06
49	2.36	1.3E+06	2.8E+06	2.21	9.7E+05	1.5E+06	2.52	2.5E+06	6.0E+06	2.32	2.7E+05	5.6E+05	2.36	1.3E+06	2.7E+06
50	2.39	1.3E+06	2.9E+06	2.25	9.8E+05	1.6E+06	2.56	2.5E+06	6.2E+06	2.36	2.8E+05	5.9E+05	2.39	1.3E+06	2.7E+06
51	2.43	1.4E+06	3.0E+06	2.28	9.8E+05	1.6E+06	2.60	2.5E+06	6.3E+06	2.40	2.8E+05	6.0E+05	2.43	1.3E+06	2.8E+06
52	2.47	1.4E+06	3.1E+06	2.32	9.8E+05	1.6E+06	2.64	2.6E+06	6.4E+06	2.44	2.8E+05	6.2E+05	2.47	1.3E+06	2.9E+06
53	2.51	1.4E+06	3.2E+06	2.35	9.9E+05	1.7E+06	2.68	2.6E+06	6.6E+06	2.47	2.8E+05	6.3E+05	2.51	1.3E+06	3.0E+06
54	2.55	1.4E+06	3.2E+06	2.39	9.9E+05	1.7E+06	2.72	2.6E+06	6.7E+06	2.51	2.8E+05	6.5E+05	2.55	1.3E+06	3.0E+06
55	2.59	1.4E+06	3.3E+06	2.43	1.0E+06	1.7E+06	2.76	2.6E+06	6.9E+06	2.55	2.8E+05	6.6E+05	2.59	1.3E+06	3.1E+06
56	2.63	1.4E+06	3.4E+06	2.46	1.0E+06	1.7E+06	2.80	2.6E+06	7.0E+06	2.59	2.9E+05	6.8E+05	2.63	1.3E+06	3.2E+06
57	2.67	1.4E+06	3.5E+06	2.50	1.0E+06	1.8E+06	2.84	2.6E+06	7.2E+06	2.63	2.9E+05	7.0E+05	2.67	1.3E+06	3.2E+06
58	2.71	1.4E+06	3.6E+06	2.54	1.0E+06	1.8E+06	2.88	2.6E+06	7.4E+06	2.67	2.9E+05	7.1E+05	2.71	1.3E+06	3.3E+06
59	2.75	1.4E+06	3.7E+06	2.58	1.0E+06	1.8E+06	2.93	2.7E+06	7.6E+06	2.71	2.9E+05	7.3E+05	2.75	1.3E+06	3.4E+06
60	2.79	1.4E+06	3.8E+06	2.62	1.0E+06	1.9E+06	2.97	2.7E+06	7.8E+06	2.76	2.9E+05	7.6E+05	2.79	1.4E+06	3.5E+06
61	2.84	1.5E+06	3.9E+06	2.66	1.0E+06	1.9E+06	3.02	2.7E+06	8.0E+06	2.80	3.0E+05	7.9E+05	2.84	1.4E+06	3.6E+06
62	2.88	1.5E+06	3.9E+06	2.70	1.0E+06	1.9E+06	3.06	2.7E+06	8.2E+06	2.84	3.0E+05	8.1E+05	2.88	1.4E+06	3.6E+06
63	2.93	1.5E+06	4.0E+06	2.74	1.0E+06	2.0E+06	3.11	2.7E+06	8.4E+06	2.89	3.0E+05	8.3E+05	2.93	1.4E+06	3.7E+06
64	2.97	1.5E+06	4.1E+06	2.79	1.0E+06	2.0E+06	3.16	2.7E+06	8.6E+06	2.93	3.0E+05	8.5E+05	2.97	1.4E+06	3.8E+06
65	3.02	1.5E+06	4.2E+06	2.83	1.0E+06	2.0E+06	3.20	2.7E+06	8.8E+06	2.98	3.0E+05	8.7E+05	3.02	1.4E+06	3.9E+06
66	3.07	1.5E+06	4.3E+06	2.87	1.0E+06	2.1E+06	3.25	2.8E+06	9.0E+06	3.02	3.1E+05	9.0E+05	3.07	1.4E+06	4.0E+06
67	3.12	1.5E+06	4.4E+06	2.92	1.0E+06	2.1E+06	3.30	2.8E+06	9.2E+06	3.07	3.1E+05	9.3E+05	3.12	1.4E+06	4.1E+06
68	3.16	1.5E+06	4.5E+06	2.96	1.0E+06	2.1E+06	3.35	2.8E+06	9.5E+06	3.12	3.1E+05	9.6E+05	3.16	1.4E+06	4.2E+06
69	3.21	1.5E+06	4.5E+06	3.01	1.0E+06	2.1E+06	3.40	2.8E+06	9.7E+06	3.17	3.1E+05	9.8E+05	3.21	1.4E+06	4.3E+06
70	3.26	1.5E+06	4.6E+06	3.06	1.0E+06	2.2E+06	3.45	2.8E+06	9.8E+06	3.22	3.1E+05	1.0E+06	3.26	1.4E+06	4.4E+06
71	3.31	1.5E+06	4.7E+06	3.10	1.0E+06	2.2E+06	3.51	2.8E+06	1.0E+07	3.27	3.1E+05	1.0E+06	3.31	1.4E+06	4.5E+06
72	3.37	1.5E+06	4.8E+06	3.15	1.0E+06	2.3E+06	3.56	2.8E+06	1.0E+07	3.32	3.2E+05	1.1E+06	3.37	1.4E+06	4.5E+06
73	3.42	1.5E+06	4.9E+06	3.20	1.0E+06	2.3E+06	3.61	2.8E+06	1.0E+07	3.37	3.2E+05	1.1E+06	3.42	1.4E+06	4.6E+06
74	3.47	1.5E+06	5.0E+06	3.25	1.1E+06	2.3E+06	3.67	2.8E+06	1.1E+07	3.42	3.2E+05	1.1E+06	3.47	1.4E+06	4.7E+06
75	3.53	1.5E+06	5.1E+06	3.30	1.1E+06	2.4E+06	3.72	2.8E+06	1.1E+07	3.48	3.2E+05	1.2E+06	3.53	1.4E+06	4.8E+06
76	3.58	1.5E+06	5.1E+06	3.35	1.1E+06	2.4E+06	3.78	2.8E+06	1.1E+07	3.53	3.2E+05	1.2E+06	3.58	1.4E+06	4.9E+06
77	3.64	1.5E+06	5.2E+06	3.40	1.1E+06	2.4E+06	3.84	2.8E+06	1.1E+07	3.58	3.2E+05	1.2E+06	3.64	1.4E+06	5.0E+06
78	3.69	1.5E+06	5.3E+06	3.46	1.1E+06	2.									

APÉNDICE B

Canal	Diam µm	Efluente M1 12mayo2008		Diam µm	Efluente M2 19mayo2008		Diam µm	Efluente M3 26mayo2008		Diam µm	Efluente M4 2junio2008		Diam µm	Efl Biodiscos Promedio	
		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL
94	4.74	1.6E+06	6.4E+06	4.42	1.1E+06	3.1E+06	4.95	2.9E+06	1.3E+07	4.66	3.4E+05	1.9E+06	4.74	1.5E+06	6.2E+06
95	4.81	1.6E+06	6.4E+06	4.49	1.1E+06	3.1E+06	5.03	2.9E+06	1.3E+07	4.74	3.4E+05	1.9E+06	4.81	1.5E+06	6.2E+06
96	4.88	1.6E+06	6.5E+06	4.56	1.1E+06	3.1E+06	5.10	2.9E+06	1.3E+07	4.81	3.4E+05	1.9E+06	4.88	1.5E+06	6.3E+06
97	4.96	1.6E+06	6.5E+06	4.63	1.1E+06	3.2E+06	5.18	2.9E+06	1.3E+07	4.88	3.4E+05	1.9E+06	4.96	1.5E+06	6.3E+06
98	5.04	1.6E+06	6.6E+06	4.70	1.1E+06	3.2E+06	5.26	2.9E+06	1.4E+07	4.96	3.4E+05	2.0E+06	5.04	1.5E+06	6.4E+06
99	5.12	1.6E+06	6.6E+06	4.77	1.1E+06	3.2E+06	5.34	2.9E+06	1.4E+07	5.04	3.4E+05	2.0E+06	5.12	1.5E+06	6.5E+06
100	5.20	1.6E+06	6.6E+06	4.85	1.1E+06	3.2E+06	5.42	2.9E+06	1.4E+07	5.12	3.4E+05	2.1E+06	5.20	1.5E+06	6.5E+06
101	5.28	1.6E+06	6.7E+06	4.92	1.1E+06	3.2E+06	5.50	2.9E+06	1.4E+07	5.20	3.5E+05	2.1E+06	5.28	1.5E+06	6.6E+06
102	5.36	1.6E+06	6.7E+06	5.00	1.1E+06	3.3E+06	5.58	2.9E+06	1.4E+07	5.28	3.5E+05	2.1E+06	5.36	1.5E+06	6.7E+06
103	5.44	1.6E+06	6.8E+06	5.08	1.1E+06	3.3E+06	5.67	2.9E+06	1.4E+07	5.36	3.5E+05	2.2E+06	5.44	1.5E+06	6.7E+06
104	5.53	1.6E+06	6.9E+06	5.15	1.1E+06	3.3E+06	5.76	2.9E+06	1.4E+07	5.44	3.5E+05	2.2E+06	5.53	1.5E+06	6.8E+06
105	5.62	1.6E+06	6.9E+06	5.23	1.1E+06	3.3E+06	5.84	2.9E+06	1.4E+07	5.53	3.5E+05	2.2E+06	5.62	1.5E+06	6.8E+06
106	5.70	1.6E+06	6.9E+06	5.31	1.1E+06	3.4E+06	5.93	2.9E+06	1.4E+07	5.61	3.5E+05	2.3E+06	5.70	1.5E+06	6.9E+06
107	5.79	1.6E+06	7.0E+06	5.40	1.1E+06	3.4E+06	6.02	2.9E+06	1.4E+07	5.70	3.5E+05	2.3E+06	5.79	1.5E+06	6.9E+06
108	5.88	1.6E+06	7.0E+06	5.48	1.1E+06	3.4E+06	6.11	2.9E+06	1.4E+07	5.79	3.5E+05	2.3E+06	5.88	1.5E+06	7.0E+06
109	5.98	1.6E+06	7.1E+06	5.57	1.1E+06	3.4E+06	6.20	2.9E+06	1.5E+07	5.88	3.5E+05	2.4E+06	5.98	1.5E+06	7.0E+06
110	6.07	1.6E+06	7.1E+06	5.65	1.1E+06	3.4E+06	6.30	2.9E+06	1.5E+07	5.97	3.5E+05	2.4E+06	6.07	1.5E+06	7.1E+06
111	6.16	1.6E+06	7.2E+06	5.74	1.1E+06	3.5E+06	6.39	2.9E+06	1.5E+07	6.06	3.5E+05	2.4E+06	6.16	1.5E+06	7.1E+06
112	6.26	1.6E+06	7.3E+06	5.83	1.1E+06	3.5E+06	6.49	2.9E+06	1.5E+07	6.16	3.5E+05	2.4E+06	6.26	1.5E+06	7.2E+06
113	6.36	1.6E+06	7.4E+06	5.92	1.1E+06	3.5E+06	6.59	2.9E+06	1.5E+07	6.26	3.5E+05	2.4E+06	6.36	1.5E+06	7.2E+06
114	6.46	1.6E+06	7.4E+06	6.01	1.1E+06	3.6E+06	6.69	2.9E+06	1.5E+07	6.35	3.5E+05	2.5E+06	6.46	1.5E+06	7.3E+06
115	6.56	1.6E+06	7.4E+06	6.10	1.1E+06	3.6E+06	6.79	2.9E+06	1.5E+07	6.45	3.5E+05	2.5E+06	6.56	1.5E+06	7.3E+06
116	6.66	1.6E+06	7.4E+06	6.20	1.1E+06	3.6E+06	6.89	2.9E+06	1.5E+07	6.55	3.5E+05	2.6E+06	6.66	1.5E+06	7.3E+06
117	6.77	1.6E+06	7.4E+06	6.29	1.1E+06	3.7E+06	7.00	2.9E+06	1.5E+07	6.65	3.5E+05	2.6E+06	6.77	1.5E+06	7.4E+06
118	6.87	1.6E+06	7.4E+06	6.39	1.1E+06	3.7E+06	7.10	2.9E+06	1.5E+07	6.76	3.5E+05	2.6E+06	6.87	1.5E+06	7.4E+06
119	6.98	1.6E+06	7.5E+06	6.49	1.1E+06	3.8E+06	7.21	2.9E+06	1.5E+07	6.86	3.5E+05	2.7E+06	6.98	1.5E+06	7.4E+06
120	7.09	1.6E+06	7.5E+06	6.59	1.1E+06	3.8E+06	7.32	2.9E+06	1.5E+07	6.97	3.5E+05	2.7E+06	7.09	1.5E+06	7.5E+06
121	7.20	1.6E+06	7.6E+06	6.69	1.1E+06	3.8E+06	7.43	2.9E+06	1.6E+07	7.08	3.5E+05	2.7E+06	7.20	1.5E+06	7.6E+06
122	7.31	1.6E+06	7.6E+06	6.80	1.1E+06	3.8E+06	7.54	2.9E+06	1.6E+07	7.19	3.5E+05	2.8E+06	7.31	1.5E+06	7.6E+06
123	7.42	1.6E+06	7.6E+06	6.90	1.1E+06	3.8E+06	7.66	2.9E+06	1.6E+07	7.30	3.5E+05	2.8E+06	7.42	1.5E+06	7.6E+06
124	7.54	1.6E+06	7.6E+06	7.01	1.1E+06	3.8E+06	7.77	2.9E+06	1.6E+07	7.42	3.5E+05	2.8E+06	7.54	1.5E+06	7.7E+06
125	7.66	1.6E+06	7.6E+06	7.12	1.1E+06	3.8E+06	7.89	2.9E+06	1.6E+07	7.53	3.5E+05	2.9E+06	7.66	1.5E+06	7.7E+06
126	7.78	1.6E+06	7.7E+06	7.23	1.1E+06	3.8E+06	8.01	2.9E+06	1.6E+07	7.65	3.5E+05	2.9E+06	7.78	1.5E+06	7.8E+06
127	7.90	1.6E+06	7.7E+06	7.34	1.1E+06	3.8E+06	8.13	2.9E+06	1.6E+07	7.77	3.5E+05	2.9E+06	7.90	1.5E+06	7.8E+06
128	8.02	1.6E+06	7.7E+06	7.45	1.1E+06	3.9E+06	8.25	2.9E+06	1.6E+07	7.89	3.5E+05	3.0E+06	8.02	1.5E+06	7.8E+06
129	8.15	1.6E+06	7.7E+06	7.57	1.1E+06	3.9E+06	8.38	2.9E+06	1.6E+07	8.01	3.5E+05	3.0E+06	8.15	1.5E+06	7.8E+06
130	8.28	1.6E+06	7.7E+06	7.69	1.1E+06	4.0E+06	8.50	2.9E+06	1.6E+07	8.14	3.5E+05	3.0E+06	8.28	1.5E+06	7.9E+06
131	8.41	1.6E+06	7.7E+06	7.81	1.1E+06	4.0E+06	8.63	2.9E+06	1.6E+07	8.26	3.5E+05	3.0E+06	8.41	1.5E+06	7.9E+06
132	8.54	1.6E+06	7.8E+06	7.93	1.1E+06	4.0E+06	8.76	2.9E+06	1.6E+07	8.39	3.5E+05	3.1E+06	8.54	1.5E+06	7.9E+06
133	8.67	1.6E+06	7.8E+06	8.05	1.1E+06	4.0E+06	8.90	2.9E+06	1.6E+07	8.52	3.5E+05	3.1E+06	8.67	1.5E+06	7.9E+06
134	8.81	1.6E+06	7.8E+06	8.17	1.1E+06	4.0E+06	9.03	2.9E+06	1.6E+07	8.66	3.5E+05	3.1E+06	8.81	1.5E+06	8.0E+06
135	8.94	1.6E+06	7.8E+06	8.30	1.1E+06	4.0E+06	9.17	2.9E+06	1.6E+07	8.79	3.5E+05	3.1E+06	8.94	1.5E+06	8.0E+06
136	9.08	1.6E+06	7.8E+06	8.43	1.1E+06	4.1E+06	9.31	2.9E+06	1.6E+07	8.93	3.5E+05	3.2E+06	9.08	1.5E+06	8.0E+06
137	9.23	1.6E+06	7.9E+06	8.56	1.1E+06	4.1E+06	9.45	2.9E+06	1.6E+07	9.07	3.5E+05	3.2E+06	9.23	1.5E+06	8.1E+06
138	9.37	1.6E+06	7.9E+06	8.69	1.1E+06	4.1E+06	9.59	2.9E+06	1.6E+07	9.21	3.5E+05	3.2E+06	9.37	1.5E+06	8.1E+06
139	9.52	1.6E+06	7.9E+06	8.83	1.1E+06	4.1E+06	9.73	2.9E+06	1.6E+07	9.35	3.5E+05	3.2E+06	9.52	1.5E+06	8.1E+06
140	9.66	1.6E+06	7.9E+06	8.96	1.1E+06	4.1E+06	9.88	2.9E+06	1.6E+07	9.50	3.5E+05	3.3E+06	9.66	1.5E+06	8.1E+06
141	9.82	1.6E+06	7.9E+06	9.10	1.1E+06	4.2E+06	10.03	2.9E+06	1.6E+07	9.64	3.5E+05	3.3E+06	9.82	1.5E+06	8.2E+06
142	9.97	1.6E+06	8.0E+06	9.24	1.1E+06	4.2E+06	10.18	2.9E+06	1.6E+07	9.80	3.5E+05	3.3E+06	9.97	1.5E+06	8.2E+06
143	10.12	1.6E+06	8.0E+06	9.39	1.1E+06	4.2E+06	10.34	2.9E+06	1.6E+07	9.95	3.5E+05	3.3E+06	10.12	1.5E+06	8.2E+06
144	10.28	1.6E+06	8.0E+06	9.53	1.1E+06	4.2E+06	10.49	2.9E+06	1.6E+07	10.10	3.5E+05	3.3E+06	10.28	1.5E+06	8.2E+06
145	10.44	1.6E+06	8.0E+06	9.68	1.1E+06	4.3E+06	10.65	2.9E+06	1.6E+07	10.26	3.5E+05	3.4E+06	10.44	1.5E+06	8.3E+06
146	10.61	1.6E+06	8.0E+06	9.83	1.1E+06	4.3E+06	10.81	2.9E+06	1.6E+07	10.42	3.5E+05	3.4E+06	10.61	1.5E+06	8.3E+06
147	10.77	1.6E+06	8.1E+06	9.98	1.1E+06	4.3E+06	10.98	2.9E+06	1.6E+07	10.58	3.5E+05	3.4E+06	10.77	1.5E+06	8.3E+06
148	10.94	1.6E+06	8.1E+06	10.14	1.1E+06	4.3E+06	11.14	2.9E+06	1.7E+07	10.75	3.5E+05	3.4E+06	10.94	1.5E+06	8.3E+06
149	11.11	1.6E+06	8.1E+06	10.30	1.1E+06	4.4E+06	11.31	2.9E+06	1.7E+07	10.92	3.5E+05	3.4E+06	11.11	1.5E+06	8.4E+06
150	11.29	1.6E+06	8.1E+06	10.45	1.1E+06	4.4E+06	11.48	2.9E+06	1.7E+07	11.09	3.5E+05	3.4E+06	11.29	1.5E+06	8.4E+06
151	11.46	1.6E+06	8.1E+06	10.62	1.1E+06	4.4E+06	11.66	2.9E+06	1.7E+07	11.26	3.5E+05	3.5E+06	11.46	1.5E+06	8.4E+06
152	11.64	1.6E+06	8.1E+06	10.78	1.1E+06	4.4E+06	11.83	2.9E+06	1.7E+07	11.43	3.5E+05	3.5E+06	11.64	1.5E+06	8.4E+06
153	11.82	1.6E+06	8.1E+06	10.95	1.1E+06	4.4E+06	12.01	2.9E+06	1.7E+07	11.61	3.5E+05	3.5E+06	11.82	1.5E+06	8.5E+06
154	12.01	1.6E+06	8.2E+06	11.12	1.1E+06	4.5E+06	12.19	2.9E+06	1.7E+07	11.79	3.5E+05	3.5E+06	12.01	1.5E+06	8.5E+06
155	12.20	1.6E+06	8.2E+06	11.29	1.1E+06	4.5E+06	12.38	2.9E+06	1.7E+07	11.98	3.5E+05	3.5E+06	12.20	1.5E+06	8.5E+06
156	12.39	1.6E+06	8.2E+06	11.47	1.1E+06	4.5E+06	12.57	2.9E+06	1.7E+07	12.16	3.5E+05	3.5E+06	12.39	1.5E+06	8.5E+06
157	12.58	1.6E+06	8.2E+06	11.64	1.1E+06	4.5E+06	12.76	2.9E+06	1.7E+07	12.35	3.5E+05	3.5E+06	12.58	1.5E+06	8.5E+06
158	12.78	1.6E+06	8.2E+06	11.82	1.1E+06	4.6E+06	12.95	2.9E+06	1.7E+07	12.55	3.5E+05	3.6E+06	12.78	1.5E+06	8.6E+06
159	12.98	1.6E+06	8.2E+06	12.01	1.1E+06	4.6E+06	13.14	2.9E+06	1.7E+07	12.74	3.5E+05	3.6E+06	12.98	1.5E+06	8.6E+06
160	13.18	1.6E+06	8.2E+06	12.19	1.1E+06	4.6E+06	13.34	2.9E+06							

APÉNDICE B

Canal	Diam µm	Efluente M1 12mayo2008		Diam µm	Efluente M2 19mayo2008		Diam µm	Efluente M3 26mayo2008		Diam µm	Efluente M4 2junio2008		Diam µm	Efl Biodiscos Promedio	
		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL
177	17.16	1.6E+06	8.5E+06	15.84	1.1E+06	5.0E+06	17.22	2.9E+06	1.7E+07	16.83	3.5E+05	3.9E+06	17.16	1.5E+06	9.0E+06
178	17.42	1.6E+06	8.5E+06	16.08	1.1E+06	5.0E+06	17.48	2.9E+06	1.7E+07	17.09	3.5E+05	3.9E+06	17.42	1.5E+06	9.0E+06
179	17.70	1.6E+06	8.5E+06	16.33	1.1E+06	5.0E+06	17.75	2.9E+06	1.7E+07	17.36	3.5E+05	3.9E+06	17.70	1.5E+06	9.0E+06
180	17.97	1.6E+06	8.6E+06	16.58	1.1E+06	5.1E+06	18.02	2.9E+06	1.7E+07	17.63	3.5E+05	4.0E+06	17.97	1.5E+06	9.1E+06
181	18.25	1.6E+06	8.6E+06	16.84	1.1E+06	5.1E+06	18.29	2.9E+06	1.7E+07	17.90	3.5E+05	4.0E+06	18.25	1.5E+06	9.1E+06
182	18.54	1.6E+06	8.6E+06	17.10	1.1E+06	5.1E+06	18.57	2.9E+06	1.8E+07	18.18	3.5E+05	4.0E+06	18.54	1.5E+06	9.1E+06
183	18.83	1.6E+06	8.6E+06	17.37	1.1E+06	5.1E+06	18.85	2.9E+06	1.8E+07	18.47	3.5E+05	4.0E+06	18.83	1.5E+06	9.1E+06
184	19.12	1.6E+06	8.7E+06	17.63	1.1E+06	5.1E+06	19.13	2.9E+06	1.8E+07	18.75	3.5E+05	4.1E+06	19.12	1.5E+06	9.2E+06
185	19.42	1.6E+06	8.7E+06	17.91	1.1E+06	5.2E+06	19.42	2.9E+06	1.8E+07	19.05	3.5E+05	4.1E+06	19.42	1.5E+06	9.2E+06
186	19.72	1.6E+06	8.7E+06	18.19	1.1E+06	5.2E+06	19.72	2.9E+06	1.8E+07	19.34	3.5E+05	4.1E+06	19.72	1.5E+06	9.2E+06
187	20.03	1.6E+06	8.7E+06	18.47	1.1E+06	5.2E+06	20.01	2.9E+06	1.8E+07	19.64	3.5E+05	4.2E+06	20.03	1.5E+06	9.2E+06
188	20.35	1.6E+06	8.8E+06	18.75	1.1E+06	5.2E+06	20.32	2.9E+06	1.8E+07	19.95	3.5E+05	4.2E+06	20.35	1.5E+06	9.3E+06
189	20.66	1.6E+06	8.8E+06	19.04	1.1E+06	5.2E+06	20.62	2.9E+06	1.8E+07	20.26	3.5E+05	4.2E+06	20.66	1.5E+06	9.3E+06
190	20.99	1.6E+06	8.8E+06	19.34	1.1E+06	5.2E+06	20.94	2.9E+06	1.8E+07	20.58	3.5E+05	4.3E+06	20.99	1.5E+06	9.3E+06
191	21.32	1.6E+06	8.8E+06	19.64	1.1E+06	5.3E+06	21.25	2.9E+06	1.8E+07	20.90	3.5E+05	4.3E+06	21.32	1.5E+06	9.4E+06
192	21.65	1.6E+06	8.8E+06	19.94	1.1E+06	5.3E+06	21.58	2.9E+06	1.8E+07	21.22	3.5E+05	4.3E+06	21.65	1.5E+06	9.4E+06
193	21.99	1.6E+06	8.9E+06	20.25	1.1E+06	5.3E+06	21.90	2.9E+06	1.8E+07	21.55	3.5E+05	4.3E+06	21.99	1.5E+06	9.4E+06
194	22.33	1.6E+06	8.9E+06	20.57	1.1E+06	5.3E+06	22.23	2.9E+06	1.8E+07	21.89	3.5E+05	4.4E+06	22.33	1.5E+06	9.5E+06
195	22.68	1.6E+06	8.9E+06	20.88	1.1E+06	5.3E+06	22.57	2.9E+06	1.8E+07	22.23	3.5E+05	4.4E+06	22.68	1.5E+06	9.5E+06
196	23.03	1.6E+06	8.9E+06	21.21	1.1E+06	5.4E+06	22.91	2.9E+06	1.8E+07	22.58	3.5E+05	4.4E+06	23.03	1.5E+06	9.5E+06
197	23.39	1.6E+06	8.9E+06	21.54	1.1E+06	5.4E+06	23.26	2.9E+06	1.8E+07	22.93	3.5E+05	4.5E+06	23.39	1.5E+06	9.6E+06
198	23.76	1.6E+06	9.0E+06	21.87	1.1E+06	5.4E+06	23.61	2.9E+06	1.8E+07	23.29	3.5E+05	4.5E+06	23.76	1.5E+06	9.6E+06
199	24.13	1.6E+06	9.0E+06	22.21	1.1E+06	5.4E+06	23.97	2.9E+06	1.8E+07	23.65	3.5E+05	4.5E+06	24.13	1.5E+06	9.6E+06
200	24.51	1.6E+06	9.1E+06	22.55	1.1E+06	5.4E+06	24.33	2.9E+06	1.8E+07	24.02	3.5E+05	4.6E+06	24.51	1.5E+06	9.7E+06
201	24.89	1.6E+06	9.1E+06	22.90	1.1E+06	5.4E+06	24.70	2.9E+06	1.8E+07	24.39	3.5E+05	4.6E+06	24.89	1.5E+06	9.7E+06
202	25.28	1.6E+06	9.1E+06	23.26	1.1E+06	5.5E+06	25.07	2.9E+06	1.8E+07	24.77	3.5E+05	4.6E+06	25.28	1.5E+06	9.7E+06
203	25.68	1.6E+06	9.2E+06	23.62	1.1E+06	5.5E+06	25.45	2.9E+06	1.8E+07	25.16	3.5E+05	4.7E+06	25.68	1.5E+06	9.8E+06
204	26.08	1.6E+06	9.2E+06	23.98	1.1E+06	5.5E+06	25.84	2.9E+06	1.8E+07	25.55	3.5E+05	4.7E+06	26.08	1.5E+06	9.8E+06
205	26.48	1.6E+06	9.2E+06	24.36	1.1E+06	5.5E+06	26.23	2.9E+06	1.8E+07	25.95	3.5E+05	4.7E+06	26.48	1.5E+06	9.8E+06
206	26.90	1.6E+06	9.3E+06	24.73	1.1E+06	5.6E+06	26.62	2.9E+06	1.8E+07	26.35	3.5E+05	4.8E+06	26.90	1.5E+06	9.9E+06
207	27.32	1.6E+06	9.3E+06	25.12	1.1E+06	5.6E+06	27.03	2.9E+06	1.9E+07	26.77	3.5E+05	4.8E+06	27.32	1.5E+06	9.9E+06
208	27.75	1.6E+06	9.4E+06	25.51	1.1E+06	5.6E+06	27.43	2.9E+06	1.9E+07	27.18	3.5E+05	4.9E+06	27.75	1.5E+06	1.0E+07
209	28.18	1.6E+06	9.4E+06	25.90	1.1E+06	5.7E+06	27.85	2.9E+06	1.9E+07	27.61	3.5E+05	4.9E+06	28.18	1.5E+06	1.0E+07
210	28.62	1.6E+06	9.5E+06	26.30	1.1E+06	5.7E+06	28.27	2.9E+06	1.9E+07	28.04	3.5E+05	4.9E+06	28.62	1.5E+06	1.0E+07
211	29.07	1.6E+06	9.5E+06	26.71	1.1E+06	5.7E+06	28.70	2.9E+06	1.9E+07	28.47	3.5E+05	5.0E+06	29.07	1.5E+06	1.0E+07
212	29.52	1.6E+06	9.6E+06	27.12	1.1E+06	5.7E+06	29.13	2.9E+06	1.9E+07	28.92	3.5E+05	5.1E+06	29.52	1.5E+06	1.0E+07
213	29.98	1.6E+06	9.7E+06	27.54	1.1E+06	5.8E+06	29.57	2.9E+06	1.9E+07	29.37	3.5E+05	5.1E+06	29.98	1.5E+06	1.0E+07
214	30.45	1.6E+06	9.7E+06	27.97	1.1E+06	5.8E+06	30.02	2.9E+06	1.9E+07	29.83	3.5E+05	5.2E+06	30.45	1.5E+06	1.0E+07
215	30.93	1.6E+06	9.7E+06	28.40	1.1E+06	5.8E+06	30.48	2.9E+06	1.9E+07	30.29	3.5E+05	5.3E+06	30.93	1.5E+06	1.0E+07
216	31.41	1.6E+06	9.8E+06	28.84	1.1E+06	5.9E+06	30.94	2.9E+06	1.9E+07	30.76	3.5E+05	5.3E+06	31.41	1.5E+06	1.0E+07
217	31.90	1.6E+06	9.8E+06	29.29	1.1E+06	5.9E+06	31.40	2.9E+06	1.9E+07	31.24	3.5E+05	5.4E+06	31.90	1.5E+06	1.0E+07
218	32.40	1.6E+06	9.8E+06	29.74	1.1E+06	5.9E+06	31.88	2.9E+06	1.9E+07	31.73	3.5E+05	5.5E+06	32.40	1.5E+06	1.0E+07
219	32.91	1.6E+06	9.8E+06	30.21	1.1E+06	5.9E+06	32.36	2.9E+06	1.9E+07	32.22	3.5E+05	5.5E+06	32.91	1.5E+06	1.0E+07
220	33.42	1.6E+06	9.9E+06	30.67	1.1E+06	6.0E+06	32.85	2.9E+06	1.9E+07	32.73	3.5E+05	5.6E+06	33.42	1.5E+06	1.1E+07
221	33.94	1.6E+06	9.9E+06	31.15	1.1E+06	6.0E+06	33.35	2.9E+06	1.9E+07	33.24	3.5E+05	5.6E+06	33.94	1.5E+06	1.1E+07
222	34.47	1.6E+06	1.0E+07	31.63	1.1E+06	6.0E+06	33.85	2.9E+06	1.9E+07	33.75	3.5E+05	5.6E+06	34.47	1.5E+06	1.1E+07
223	35.01	1.6E+06	1.0E+07	32.12	1.1E+06	6.0E+06	34.37	2.9E+06	2.0E+07	34.28	3.5E+05	5.7E+06	35.01	1.5E+06	1.1E+07
224	35.56	1.6E+06	1.0E+07	32.62	1.1E+06	6.0E+06	34.89	2.9E+06	2.0E+07	34.81	3.5E+05	5.7E+06	35.56	1.5E+06	1.1E+07
225	36.12	1.6E+06	1.0E+07	33.12	1.1E+06	6.1E+06	35.41	2.9E+06	2.0E+07	35.36	3.5E+05	5.8E+06	36.12	1.5E+06	1.1E+07
226	36.68	1.6E+06	1.0E+07	33.64	1.1E+06	6.1E+06	35.95	2.9E+06	2.0E+07	35.91	3.5E+05	5.8E+06	36.68	1.5E+06	1.1E+07
227	37.25	1.6E+06	1.0E+07	34.16	1.1E+06	6.1E+06	36.49	2.9E+06	2.0E+07	36.47	3.5E+05	5.9E+06	37.25	1.5E+06	1.1E+07
228	37.84	1.6E+06	1.0E+07	34.69	1.1E+06	6.1E+06	37.04	2.9E+06	2.0E+07	37.03	3.5E+05	5.9E+06	37.84	1.5E+06	1.1E+07
229	38.43	1.6E+06	1.0E+07	35.23	1.1E+06	6.1E+06	37.61	2.9E+06	2.0E+07	37.61	3.5E+05	6.0E+06	38.43	1.5E+06	1.1E+07
230	39.03	1.6E+06	1.0E+07	35.77	1.1E+06	6.1E+06	38.17	2.9E+06	2.0E+07	38.20	3.5E+05	6.1E+06	39.03	1.5E+06	1.1E+07
231	39.64	1.6E+06	1.0E+07	36.33	1.1E+06	6.1E+06	38.75	2.9E+06	2.0E+07	38.79	3.5E+05	6.1E+06	39.64	1.5E+06	1.1E+07
232	40.26	1.6E+06	1.0E+07	36.89	1.1E+06	6.2E+06	39.34	2.9E+06	2.0E+07	39.40	3.5E+05	6.2E+06	40.26	1.5E+06	1.1E+07
233	40.89	1.6E+06	1.0E+07	37.46	1.1E+06	6.2E+06	39.93	2.9E+06	2.0E+07	40.01	3.5E+05	6.3E+06	40.89	1.5E+06	1.1E+07
234	41.53	1.6E+06	1.1E+07	38.04	1.1E+06	6.2E+06	40.54	2.9E+06	2.0E+07	40.64	3.5E+05	6.3E+06	41.53	1.5E+06	1.1E+07
235	42.17	1.6E+06	1.1E+07	38.63	1.1E+06	6.2E+06	41.15	2.9E+06	2.0E+07	41.27	3.5E+05	6.4E+06	42.17	1.5E+06	1.1E+07
236	42.83	1.6E+06	1.1E+07	39.23	1.1E+06	6.3E+06	41.77	2.9E+06	2.0E+07	41.91	3.5E+05	6.4E+06	42.83	1.5E+06	1.1E+07
237	43.50	1.6E+06	1.1E+07	39.84	1.1E+06	6.3E+06	42.41	2.9E+06	2.0E+07	42.57	3.5E+05	6.5E+06	43.50	1.5E+06	1.1E+07
238	44.18	1.6E+06	1.1E+07	40.45	1.1E+06	6.3E+06	43.05	2.9E+06	2.0E+07	43.23	3.5E+05	6.5E+06	44.18	1.5E+06	1.1E+07
239	44.87	1.6E+06	1.1E+07	41.08	1.1E+06	6.3E+06	43.70	2.9E+06	2.1E+07	43.90	3.5E+05	6.6E+06	44.87	1.5E+06	1.1E+07
240	45.57	1.6E+06	1.1E+07	41.72	1.1E+06	6.4E+06	44.36	2.9E+06	2.1E+07	44.59	3.5E+05	6.6E+06	45.57	1.5E+06	1.1E+07
241	46.29	1.6E+06	1.1E+07	42.36	1.1E+06	6.4E+06	45.03	2.9E+06	2.1E+07	45.28	3.5E+05	6.6E+06	46.29	1.5E+06	1.2E+07
242	47.01	1.6													

**Tabla B4** Distribución de tamaño de partícula promedio de los lodos activados

Canal	Diam µm	Efluente M1 12 mayo 2008		Diam µm	Efluente M2 19 mayo 2008		Diam µm	Efluente M3 26 mayo 2008		Diam µm	Efluente M4 2 junio 2008		Diam µm	Efl Lodos activados Promedio	
		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL
<b>Efluente de lodos activados</b>															
1	1.12	0.0E+00	0.0E+00	1.06	0.0E+00	0.0E+00	1.23	0.0E+00	0.0E+00	1.11	0.0E+00	0.0E+00	1.12	0.0E+00	0.0E+00
2	1.14	7.8E+03	5.9E+03	1.07	1.1E+05	7.0E+04	1.24	5.7E+03	5.7E+03	1.12	3.1E+04	2.2E+04	1.14	3.0E+04	2.2E+04
3	1.15	2.7E+04	2.1E+04	1.09	2.2E+05	1.4E+05	1.26	1.8E+04	1.8E+04	1.14	6.1E+04	4.5E+04	1.15	6.0E+04	4.6E+04
4	1.17	4.1E+04	3.3E+04	1.11	3.1E+05	2.1E+05	1.28	3.1E+04	3.2E+04	1.16	8.8E+04	6.7E+04	1.17	8.6E+04	6.8E+04
5	1.19	5.5E+04	4.4E+04	1.12	4.0E+05	2.7E+05	1.30	4.3E+04	4.6E+04	1.18	1.1E+05	8.6E+04	1.19	1.1E+05	8.9E+04
6	1.21	6.7E+04	5.5E+04	1.14	4.7E+05	3.2E+05	1.32	5.6E+04	6.1E+04	1.20	1.3E+05	1.1E+05	1.21	1.3E+05	1.1E+05
7	1.23	7.8E+04	6.6E+04	1.16	5.4E+05	3.8E+05	1.34	6.7E+04	7.5E+04	1.21	1.5E+05	1.2E+05	1.23	1.5E+05	1.3E+05
8	1.25	9.0E+04	7.7E+04	1.17	6.0E+05	4.3E+05	1.36	7.7E+04	8.7E+04	1.23	1.7E+05	1.4E+05	1.25	1.7E+05	1.5E+05
9	1.27	1.0E+05	8.8E+04	1.19	6.6E+05	4.8E+05	1.38	8.4E+04	9.7E+04	1.25	1.9E+05	1.6E+05	1.27	2.0E+05	1.7E+05
10	1.29	1.1E+05	9.8E+04	1.21	7.1E+05	5.3E+05	1.40	9.3E+04	1.1E+05	1.27	2.1E+05	1.8E+05	1.29	2.2E+05	1.9E+05
11	1.31	1.2E+05	1.1E+05	1.23	7.6E+05	5.7E+05	1.42	1.0E+05	1.2E+05	1.29	2.3E+05	2.1E+05	1.31	2.4E+05	2.2E+05
12	1.33	1.3E+05	1.2E+05	1.24	8.1E+05	6.2E+05	1.44	1.1E+05	1.3E+05	1.31	2.5E+05	2.2E+05	1.33	2.5E+05	2.4E+05
13	1.35	1.3E+05	1.3E+05	1.26	8.5E+05	6.6E+05	1.46	1.2E+05	1.5E+05	1.33	2.6E+05	2.4E+05	1.35	2.7E+05	2.6E+05
14	1.37	1.4E+05	1.4E+05	1.28	8.9E+05	7.0E+05	1.48	1.3E+05	1.6E+05	1.35	2.8E+05	2.6E+05	1.37	2.8E+05	2.8E+05
15	1.39	1.5E+05	1.5E+05	1.30	9.2E+05	7.4E+05	1.50	1.3E+05	1.7E+05	1.37	2.9E+05	2.7E+05	1.39	3.0E+05	3.0E+05
16	1.41	1.5E+05	1.6E+05	1.32	9.6E+05	7.9E+05	1.52	1.4E+05	1.8E+05	1.39	3.0E+05	2.9E+05	1.41	3.1E+05	3.2E+05
17	1.43	1.6E+05	1.7E+05	1.34	9.9E+05	8.2E+05	1.54	1.5E+05	2.0E+05	1.42	3.2E+05	3.1E+05	1.43	3.3E+05	3.4E+05
18	1.46	1.7E+05	1.7E+05	1.36	1.0E+06	8.6E+05	1.57	1.5E+05	2.1E+05	1.44	3.3E+05	3.3E+05	1.46	3.4E+05	3.6E+05
19	1.48	1.7E+05	1.8E+05	1.38	1.0E+06	9.0E+05	1.59	1.6E+05	2.2E+05	1.46	3.4E+05	3.6E+05	1.48	3.5E+05	3.8E+05
20	1.50	1.8E+05	1.9E+05	1.40	1.1E+06	9.4E+05	1.61	1.6E+05	2.3E+05	1.48	3.6E+05	3.8E+05	1.50	3.6E+05	4.0E+05
21	1.53	1.8E+05	2.0E+05	1.42	1.1E+06	9.8E+05	1.64	1.7E+05	2.4E+05	1.51	3.7E+05	3.9E+05	1.53	3.7E+05	4.1E+05
22	1.55	1.8E+05	2.1E+05	1.44	1.1E+06	1.0E+06	1.66	1.7E+05	2.5E+05	1.53	3.7E+05	4.1E+05	1.55	3.8E+05	4.3E+05
23	1.57	1.9E+05	2.1E+05	1.46	1.1E+06	1.0E+06	1.68	1.8E+05	2.6E+05	1.55	3.8E+05	4.2E+05	1.57	3.9E+05	4.5E+05
24	1.60	1.9E+05	2.2E+05	1.49	1.2E+06	1.1E+06	1.71	1.8E+05	2.7E+05	1.58	3.9E+05	4.5E+05	1.60	4.0E+05	4.6E+05
25	1.62	1.9E+05	2.3E+05	1.51	1.2E+06	1.1E+06	1.73	1.8E+05	2.8E+05	1.60	4.0E+05	4.7E+05	1.62	4.0E+05	4.8E+05
26	1.65	2.0E+05	2.4E+05	1.53	1.2E+06	1.1E+06	1.76	1.9E+05	2.9E+05	1.63	4.1E+05	4.8E+05	1.65	4.1E+05	4.9E+05
27	1.68	2.0E+05	2.4E+05	1.55	1.2E+06	1.2E+06	1.79	1.9E+05	3.0E+05	1.65	4.2E+05	5.0E+05	1.68	4.2E+05	5.1E+05
28	1.70	2.0E+05	2.5E+05	1.58	1.2E+06	1.2E+06	1.81	2.0E+05	3.1E+05	1.68	4.3E+05	5.3E+05	1.70	4.2E+05	5.3E+05
29	1.73	2.1E+05	2.6E+05	1.60	1.2E+06	1.2E+06	1.84	2.0E+05	3.3E+05	1.70	4.3E+05	5.4E+05	1.73	4.3E+05	5.4E+05
30	1.76	2.1E+05	2.7E+05	1.62	1.2E+06	1.2E+06	1.86	2.0E+05	3.4E+05	1.73	4.4E+05	5.7E+05	1.76	4.4E+05	5.6E+05
31	1.78	2.1E+05	2.8E+05	1.65	1.3E+06	1.3E+06	1.89	2.0E+05	3.5E+05	1.76	4.5E+05	5.9E+05	1.78	4.4E+05	5.8E+05
32	1.81	2.2E+05	2.9E+05	1.67	1.3E+06	1.3E+06	1.92	2.1E+05	3.6E+05	1.78	4.6E+05	6.1E+05	1.81	4.5E+05	5.9E+05
33	1.84	2.2E+05	3.0E+05	1.70	1.3E+06	1.3E+06	1.95	2.1E+05	3.7E+05	1.81	4.7E+05	6.3E+05	1.84	4.5E+05	6.1E+05
34	1.87	2.2E+05	3.1E+05	1.72	1.3E+06	1.3E+06	1.98	2.1E+05	3.8E+05	1.84	4.7E+05	6.5E+05	1.87	4.6E+05	6.3E+05
35	1.90	2.3E+05	3.1E+05	1.75	1.3E+06	1.4E+06	2.00	2.1E+05	3.8E+05	1.87	4.8E+05	6.7E+05	1.90	4.6E+05	6.4E+05
36	1.93	2.3E+05	3.2E+05	1.78	1.3E+06	1.4E+06	2.03	2.2E+05	3.9E+05	1.90	4.8E+05	6.9E+05	1.93	4.7E+05	6.6E+05
37	1.96	2.3E+05	3.3E+05	1.80	1.3E+06	1.4E+06	2.06	2.2E+05	4.0E+05	1.93	4.9E+05	7.1E+05	1.96	4.7E+05	6.7E+05
38	1.99	2.3E+05	3.4E+05	1.83	1.3E+06	1.4E+06	2.09	2.2E+05	4.1E+05	1.95	4.9E+05	7.2E+05	1.99	4.7E+05	6.9E+05
39	2.02	2.3E+05	3.5E+05	1.86	1.3E+06	1.5E+06	2.12	2.2E+05	4.2E+05	1.99	5.0E+05	7.4E+05	2.02	4.8E+05	7.0E+05
40	2.05	2.4E+05	3.6E+05	1.88	1.3E+06	1.5E+06	2.15	2.2E+05	4.3E+05	2.02	5.0E+05	7.7E+05	2.05	4.8E+05	7.2E+05
41	2.08	2.4E+05	3.7E+05	1.91	1.3E+06	1.5E+06	2.19	2.3E+05	4.4E+05	2.05	5.1E+05	7.8E+05	2.08	4.8E+05	7.3E+05
42	2.11	2.4E+05	3.7E+05	1.94	1.3E+06	1.5E+06	2.22	2.3E+05	4.5E+05	2.08	5.1E+05	8.0E+05	2.11	4.9E+05	7.5E+05
43	2.15	2.4E+05	3.8E+05	1.97	1.4E+06	1.5E+06	2.25	2.3E+05	4.5E+05	2.11	5.2E+05	8.2E+05	2.15	4.9E+05	7.6E+05
44	2.18	2.4E+05	3.9E+05	2.00	1.4E+06	1.6E+06	2.28	2.3E+05	4.6E+05	2.14	5.2E+05	8.4E+05	2.18	4.9E+05	7.7E+05
45	2.21	2.4E+05	4.0E+05	2.03	1.4E+06	1.6E+06	2.32	2.3E+05	4.6E+05	2.18	5.2E+05	8.6E+05	2.21	4.9E+05	7.9E+05
46	2.25	2.5E+05	4.2E+05	2.06	1.4E+06	1.6E+06	2.35	2.3E+05	4.7E+05	2.21	5.3E+05	8.8E+05	2.25	5.0E+05	8.0E+05
47	2.28	2.5E+05	4.3E+05	2.09	1.4E+06	1.6E+06	2.38	2.3E+05	4.8E+05	2.24	5.3E+05	9.0E+05	2.28	5.0E+05	8.1E+05
48	2.32	2.5E+05	4.4E+05	2.12	1.4E+06	1.6E+06	2.42	2.3E+05	4.8E+05	2.28	5.3E+05	9.2E+05	2.32	5.0E+05	8.3E+05
49	2.36	2.5E+05	4.4E+05	2.15	1.4E+06	1.7E+06	2.45	2.3E+05	4.9E+05	2.32	5.4E+05	9.4E+05	2.36	5.0E+05	8.4E+05
50	2.39	2.5E+05	4.6E+05	2.18	1.4E+06	1.7E+06	2.49	2.3E+05	5.0E+05	2.35	5.4E+05	9.6E+05	2.39	5.0E+05	8.5E+05
51	2.43	2.6E+05	4.7E+05	2.22	1.4E+06	1.7E+06	2.53	2.4E+05	5.1E+05	2.39	5.4E+05	9.8E+05	2.43	5.1E+05	8.7E+05
52	2.47	2.6E+05	4.8E+05	2.25	1.4E+06	1.7E+06	2.56	2.4E+05	5.2E+05	2.42	5.4E+05	1.0E+06	2.47	5.1E+05	8.8E+05
53	2.51	2.6E+05	4.9E+05	2.28	1.4E+06	1.7E+06	2.60	2.4E+05	5.3E+05	2.46	5.5E+05	1.0E+06	2.51	5.1E+05	8.9E+05
54	2.55	2.6E+05	5.1E+05	2.32	1.4E+06	1.7E+06	2.64	2.4E+05	5.3E+05	2.50	5.5E+05	1.0E+06	2.55	5.1E+05	9.1E+05
55	2.59	2.6E+05	5.2E+05	2.35	1.4E+06	1.8E+06	2.68	2.4E+05	5.4E+05	2.54	5.5E+05	1.1E+06	2.59	5.1E+05	9.2E+05
56	2.63	2.6E+05	5.3E+05	2.39	1.4E+06	1.8E+06	2.72	2.4E+05	5.5E+05	2.58	5.5E+05	1.1E+06	2.63	5.1E+05	9.4E+05
57	2.67	2.6E+05	5.4E+05	2.42	1.4E+06	1.8E+06	2.76	2.4E+05	5.6E+05	2.62	5.6E+05	1.1E+06	2.67	5.2E+05	9.5E+05
58	2.71	2.6E+05	5.5E+05	2.46	1.4E+06	1.8E+06	2.80	2.4E+05	5.7E+05	2.66	5.6E+05	1.1E+06	2.71	5.2E+05	9.6E+05
59	2.75	2.7E+05	5.7E+05	2.50	1.4E+06	1.8E+06	2.84	2.4E+05	5.8E+05	2.70	5.6E+05	1.1E+06	2.75	5.2E+05	9.8E+05
60	2.79	2.7E+05	5.8E+05	2.53	1.4E+06	1.8E+06	2.88	2.4E+05	5.8E+05	2.74	5.6E+05	1.1E+06	2.79	5.2E+05	1.0E+06
61	2.84	2.7E+05	5.8E+05	2.57	1.4E+06	1.8E+06	2.92	2.4E+05	6.0E+05	2.78	5.6E+05	1.2E+06	2.84	5.2E+05	1.0E+06
62	2.88	2.7E+05	5.9E+05	2.61	1.4E+06	1.9E+06	2.96	2.5E+05	6.1E+05	2.83	5.6E+05	1.2E+06	2.88	5.2E+05	1.0E+06
63	2.93	2.7E+05	6.0E+05	2.65	1.4E+06	1.9E+06	3.01	2.5E+05	6.2E+05	2.87	5.7E+05	1.2E+06	2.93	5.2E+05	1.0E+06
64	2.97	2.7E+05	6.1E+05	2.69	1.4E+06	1.9E+06	3.05	2.5E+05	6.4E+05	2.92	5.7E+05	1.2E+06	2.97	5.3E+05	1.1E+06
65	3.02	2.7E+05	6.3E+05	2.73	1.4E+06	1.9E+06	3.09	2.5E+05	6.5E+05	2.96	5.7E+05	1.3E+06	3.02	5.3E+05	1.1E+06
66	3.07	2.7E+05	6.4E+05	2.77	1.4E+06	1.9E+06	3.14	2.5E+05	6.6E+05	3.01	5.7E+05	1.3E+06	3.07	5.3E+05	1.1E+06
67	3.12	2.7E+05	6.6E+05	2.81	1.4E+06	1.9E+06	3.18	2.5E+05	6.8E+05	3.05	5.8E+05	1.4E+06	3.12	5	

APÉNDICE B

Canal	Diam µm	Efluente M1 12 mayo 2008		Diam µm	Efluente M2 19 mayo 2008		Diam µm	Efluente M3 26 mayo 2008		Diam µm	Efluente M4 2 junio 2008		Diam µm	Efl Lodos activados Promedio	
		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL
81	3.87	2.8E+05	9.0E+05	3.46	1.4E+06	2.2E+06	3.90	2.6E+05	8.5E+05	3.79	6.0E+05	1.8E+06	3.87	5.4E+05	1.4E+06
82	3.93	2.8E+05	9.2E+05	3.51	1.4E+06	2.2E+06	3.96	2.6E+05	8.8E+05	3.85	6.0E+05	1.9E+06	3.93	5.4E+05	1.5E+06
83	3.99	2.9E+05	9.5E+05	3.56	1.4E+06	2.2E+06	4.01	2.6E+05	9.1E+05	3.90	6.0E+05	1.9E+06	3.99	5.5E+05	1.5E+06
84	4.06	2.9E+05	9.7E+05	3.61	1.4E+06	2.3E+06	4.07	2.6E+05	9.6E+05	3.97	6.1E+05	2.0E+06	4.06	5.5E+05	1.5E+06
85	4.12	2.9E+05	1.0E+06	3.67	1.4E+06	2.3E+06	4.13	2.6E+05	1.0E+06	4.03	6.1E+05	2.0E+06	4.12	5.5E+05	1.6E+06
86	4.18	2.9E+05	1.0E+06	3.72	1.4E+06	2.3E+06	4.19	2.6E+05	1.1E+06	4.09	6.1E+05	2.0E+06	4.18	5.5E+05	1.6E+06
87	4.25	2.9E+05	1.1E+06	3.78	1.4E+06	2.3E+06	4.25	2.6E+05	1.1E+06	4.15	6.1E+05	2.0E+06	4.25	5.5E+05	1.6E+06
88	4.31	2.9E+05	1.1E+06	3.83	1.4E+06	2.3E+06	4.32	2.6E+05	1.1E+06	4.22	6.1E+05	2.0E+06	4.31	5.5E+05	1.7E+06
89	4.38	2.9E+05	1.2E+06	3.89	1.4E+06	2.4E+06	4.38	2.7E+05	1.2E+06	4.28	6.1E+05	2.1E+06	4.38	5.5E+05	1.7E+06
90	4.45	2.9E+05	1.2E+06	3.95	1.4E+06	2.4E+06	4.44	2.7E+05	1.2E+06	4.35	6.1E+05	2.1E+06	4.45	5.5E+05	1.8E+06
91	4.52	2.9E+05	1.3E+06	4.01	1.4E+06	2.5E+06	4.51	2.7E+05	1.3E+06	4.42	6.1E+05	2.1E+06	4.52	5.5E+05	1.8E+06
92	4.59	2.9E+05	1.3E+06	4.07	1.4E+06	2.5E+06	4.57	2.7E+05	1.3E+06	4.48	6.1E+05	2.1E+06	4.59	5.6E+05	1.9E+06
93	4.66	3.0E+05	1.4E+06	4.13	1.4E+06	2.6E+06	4.64	2.7E+05	1.4E+06	4.55	6.1E+05	2.2E+06	4.66	5.6E+05	1.9E+06
94	4.74	3.0E+05	1.4E+06	4.19	1.4E+06	2.6E+06	4.71	2.7E+05	1.5E+06	4.62	6.1E+05	2.3E+06	4.74	5.6E+05	2.0E+06
95	4.81	3.0E+05	1.5E+06	4.25	1.4E+06	2.6E+06	4.78	2.7E+05	1.5E+06	4.70	6.1E+05	2.3E+06	4.81	5.6E+05	2.0E+06
96	4.88	3.0E+05	1.5E+06	4.31	1.4E+06	2.7E+06	4.84	2.7E+05	1.6E+06	4.77	6.1E+05	2.3E+06	4.88	5.6E+05	2.1E+06
97	4.96	3.0E+05	1.6E+06	4.38	1.4E+06	2.7E+06	4.92	2.8E+05	1.8E+06	4.84	6.1E+05	2.3E+06	4.96	5.6E+05	2.1E+06
98	5.04	3.0E+05	1.6E+06	4.44	1.4E+06	2.8E+06	4.99	2.8E+05	1.8E+06	4.92	6.1E+05	2.4E+06	5.04	5.6E+05	2.2E+06
99	5.12	3.0E+05	1.7E+06	4.51	1.4E+06	2.8E+06	5.06	2.8E+05	1.9E+06	4.99	6.1E+05	2.4E+06	5.12	5.6E+05	2.3E+06
100	5.20	3.0E+05	1.7E+06	4.58	1.4E+06	2.9E+06	5.13	2.8E+05	2.0E+06	5.07	6.1E+05	2.4E+06	5.20	5.6E+05	2.3E+06
101	5.28	3.0E+05	1.8E+06	4.65	1.5E+06	2.9E+06	5.21	2.8E+05	2.0E+06	5.15	6.2E+05	2.4E+06	5.28	5.6E+05	2.4E+06
102	5.36	3.0E+05	1.9E+06	4.72	1.5E+06	3.0E+06	5.28	2.8E+05	2.1E+06	5.23	6.2E+05	2.5E+06	5.36	5.6E+05	2.4E+06
103	5.44	3.0E+05	1.9E+06	4.79	1.5E+06	3.0E+06	5.36	2.8E+05	2.2E+06	5.31	6.2E+05	2.5E+06	5.44	5.6E+05	2.5E+06
104	5.53	3.0E+05	2.0E+06	4.86	1.5E+06	3.0E+06	5.44	2.8E+05	2.2E+06	5.39	6.2E+05	2.5E+06	5.53	5.7E+05	2.5E+06
105	5.62	3.1E+05	2.1E+06	4.93	1.5E+06	3.1E+06	5.52	2.8E+05	2.3E+06	5.48	6.2E+05	2.6E+06	5.62	5.7E+05	2.6E+06
106	5.70	3.1E+05	2.2E+06	5.00	1.5E+06	3.1E+06	5.60	2.9E+05	2.4E+06	5.56	6.2E+05	2.6E+06	5.70	5.7E+05	2.7E+06
107	5.79	3.1E+05	2.2E+06	5.08	1.5E+06	3.2E+06	5.68	2.9E+05	2.5E+06	5.65	6.2E+05	2.6E+06	5.79	5.7E+05	2.7E+06
108	5.88	3.1E+05	2.3E+06	5.15	1.5E+06	3.2E+06	5.76	2.9E+05	2.5E+06	5.74	6.2E+05	2.7E+06	5.88	5.7E+05	2.8E+06
109	5.98	3.1E+05	2.3E+06	5.23	1.5E+06	3.3E+06	5.85	2.9E+05	2.5E+06	5.82	6.2E+05	2.7E+06	5.98	5.7E+05	2.8E+06
110	6.07	3.1E+05	2.5E+06	5.31	1.5E+06	3.3E+06	5.93	2.9E+05	2.6E+06	5.91	6.2E+05	2.8E+06	6.07	5.7E+05	2.9E+06
111	6.16	3.1E+05	2.5E+06	5.39	1.5E+06	3.4E+06	6.02	2.9E+05	2.6E+06	6.01	6.2E+05	2.8E+06	6.16	5.7E+05	2.9E+06
112	6.26	3.1E+05	2.6E+06	5.47	1.5E+06	3.4E+06	6.11	2.9E+05	2.7E+06	6.10	6.2E+05	2.8E+06	6.26	5.7E+05	3.0E+06
113	6.36	3.1E+05	2.7E+06	5.55	1.5E+06	3.5E+06	6.20	2.9E+05	2.8E+06	6.19	6.2E+05	2.8E+06	6.36	5.7E+05	3.1E+06
114	6.46	3.1E+05	2.8E+06	5.63	1.5E+06	3.6E+06	6.29	2.9E+05	2.8E+06	6.29	6.2E+05	2.8E+06	6.46	5.7E+05	3.1E+06
115	6.56	3.1E+05	2.8E+06	5.72	1.5E+06	3.6E+06	6.38	2.9E+05	2.9E+06	6.39	6.2E+05	2.8E+06	6.56	5.7E+05	3.2E+06
116	6.66	3.1E+05	2.9E+06	5.80	1.5E+06	3.7E+06	6.47	2.9E+05	3.0E+06	6.49	6.2E+05	2.8E+06	6.66	5.7E+05	3.3E+06
117	6.77	3.1E+05	3.0E+06	5.89	1.5E+06	3.8E+06	6.57	2.9E+05	3.0E+06	6.59	6.2E+05	2.8E+06	6.77	5.7E+05	3.3E+06
118	6.87	3.1E+05	3.1E+06	5.98	1.5E+06	3.9E+06	6.66	2.9E+05	3.1E+06	6.69	6.2E+05	2.9E+06	6.87	5.7E+05	3.4E+06
119	6.98	3.1E+05	3.1E+06	6.06	1.5E+06	3.9E+06	6.76	2.9E+05	3.1E+06	6.79	6.2E+05	2.9E+06	6.98	5.7E+05	3.5E+06
120	7.09	3.1E+05	3.2E+06	6.16	1.5E+06	4.0E+06	6.86	2.9E+05	3.2E+06	6.90	6.2E+05	2.9E+06	7.09	5.7E+05	3.6E+06
121	7.20	3.1E+05	3.3E+06	6.25	1.5E+06	4.1E+06	6.96	2.9E+05	3.3E+06	7.00	6.2E+05	3.0E+06	7.20	5.7E+05	3.6E+06
122	7.31	3.1E+05	3.4E+06	6.34	1.5E+06	4.2E+06	7.06	2.9E+05	3.4E+06	7.11	6.2E+05	3.1E+06	7.31	5.7E+05	3.7E+06
123	7.42	3.2E+05	3.4E+06	6.43	1.5E+06	4.2E+06	7.16	2.9E+05	3.5E+06	7.22	6.2E+05	3.1E+06	7.42	5.7E+05	3.8E+06
124	7.54	3.2E+05	3.5E+06	6.53	1.5E+06	4.3E+06	7.26	2.9E+05	3.6E+06	7.33	6.2E+05	3.1E+06	7.54	5.7E+05	3.9E+06
125	7.66	3.2E+05	3.6E+06	6.63	1.5E+06	4.4E+06	7.37	2.9E+05	3.7E+06	7.45	6.2E+05	3.2E+06	7.66	5.7E+05	3.9E+06
126	7.78	3.2E+05	3.7E+06	6.73	1.5E+06	4.5E+06	7.48	2.9E+05	3.8E+06	7.56	6.2E+05	3.2E+06	7.78	5.8E+05	4.1E+06
127	7.90	3.2E+05	3.8E+06	6.83	1.5E+06	4.6E+06	7.59	3.0E+05	3.9E+06	7.68	6.2E+05	3.2E+06	7.90	5.8E+05	4.2E+06
128	8.02	3.2E+05	3.9E+06	6.93	1.5E+06	4.7E+06	7.70	3.0E+05	4.0E+06	7.80	6.2E+05	3.3E+06	8.02	5.8E+05	4.2E+06
129	8.15	3.2E+05	4.0E+06	7.03	1.5E+06	4.8E+06	7.81	3.0E+05	4.1E+06	7.92	6.2E+05	3.4E+06	8.15	5.8E+05	4.3E+06
130	8.28	3.2E+05	4.1E+06	7.14	1.5E+06	4.9E+06	7.92	3.0E+05	4.2E+06	8.04	6.2E+05	3.4E+06	8.28	5.8E+05	4.4E+06
131	8.41	3.2E+05	4.2E+06	7.24	1.5E+06	5.0E+06	8.04	3.0E+05	4.3E+06	8.17	6.2E+05	3.4E+06	8.41	5.8E+05	4.5E+06
132	8.54	3.2E+05	4.3E+06	7.35	1.5E+06	5.1E+06	8.16	3.0E+05	4.4E+06	8.30	6.2E+05	3.5E+06	8.54	5.8E+05	4.6E+06
133	8.67	3.2E+05	4.4E+06	7.46	1.5E+06	5.2E+06	8.28	3.0E+05	4.5E+06	8.42	6.2E+05	3.6E+06	8.67	5.8E+05	4.7E+06
134	8.81	3.2E+05	4.5E+06	7.57	1.5E+06	5.3E+06	8.40	3.0E+05	4.6E+06	8.55	6.2E+05	3.6E+06	8.81	5.8E+05	4.8E+06
135	8.94	3.2E+05	4.6E+06	7.69	1.5E+06	5.4E+06	8.52	3.0E+05	4.7E+06	8.69	6.2E+05	3.6E+06	8.94	5.8E+05	4.9E+06
136	9.08	3.2E+05	4.7E+06	7.80	1.5E+06	5.5E+06	8.64	3.0E+05	4.8E+06	8.82	6.2E+05	3.7E+06	9.08	5.8E+05	5.0E+06
137	9.23	3.2E+05	4.8E+06	7.92	1.5E+06	5.6E+06	8.77	3.0E+05	4.9E+06	8.96	6.2E+05	3.7E+06	9.23	5.8E+05	5.1E+06
138	9.37	3.2E+05	4.9E+06	8.03	1.5E+06	5.7E+06	8.90	3.0E+05	5.0E+06	9.10	6.2E+05	3.7E+06	9.37	5.8E+05	5.2E+06
139	9.52	3.2E+05	5.0E+06	8.15	1.5E+06	5.8E+06	9.03	3.0E+05	5.1E+06	9.24	6.2E+05	3.7E+06	9.52	5.8E+05	5.3E+06
140	9.66	3.2E+05	5.1E+06	8.28	1.5E+06	5.9E+06	9.16	3.0E+05	5.2E+06	9.38	6.2E+05	3.8E+06	9.66	5.8E+05	5.4E+06
141	9.82	3.2E+05	5.2E+06	8.40	1.5E+06	6.0E+06	9.29	3.0E+05	5.3E+06	9.53	6.2E+05	3.8E+06	9.82	5.8E+05	5.5E+06
142	9.97	3.2E+05	5.3E+06	8.52	1.5E+06	6.1E+06	9.43	3.0E+05	5.4E+06	9.67	6.2E+05	3.8E+06	9.97	5.8E+05	5.6E+06
143	10.12	3.2E+05	5.4E+06	8.65	1.5E+06	6.3E+06	9.56	3.0E+05	5.4E+06	9.82	6.2E+05	4.0E+06	10.12	5.8E+05	5.7E+06
144	10.28	3.2E+05	5.6E+06	8.78	1.5E+06	6.4E+06	9.70	3.0E+05	5.5E+06	9.98	6.2E+05	4.2E+06	10.28	5.8E+05	5.8E+06
145	10.44	3.2E+05	5.7E+06	8.91	1.5E+06	6.5E+06	9.84	3.0E+05	5.6E+06	10.13	6.2E+05	4.2E+06	10.44	5.8E+05	5.9E+06
146	10.61	3.2E+05	5.8E+06	9.04	1.5E+06	6.6E+06	9.99	3.0E+05	5.7E+06	10.29	6.2E+05	4.2E+06	10.61	5.8E+05	6.1E+06
147	10.77	3.2E+05	5.9E+06	9.18	1.5E+06	6.8E+06	10.13	3.0E+05	5.8E+06	10.45	6.2E+05	4.2E+06	10.77	5.8E+05	6.2E+06



APÉNDICE B

Canal	Diam µm	Efluente M1 12 mayo 2008		Diam µm	Efluente M2 19 mayo 2008		Diam µm	Efluente M3 26 mayo 2008		Diam µm	Efluente M4 2 junio 2008		Diam µm	Efl Lodos activados Promedio	
		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número / mL	µm <sup>3</sup> / mL
164	14.02	3.3E+05	9.1E+06	11.80	1.5E+06	9.4E+06	12.96	3.0E+05	7.5E+06	13.57	6.3E+05	6.0E+06	14.02	5.8E+05	8.6E+06
165	14.24	3.3E+05	9.3E+06	11.98	1.5E+06	9.6E+06	13.15	3.0E+05	7.6E+06	13.78	6.3E+05	6.1E+06	14.24	5.8E+05	8.8E+06
166	14.46	3.3E+05	9.6E+06	12.16	1.5E+06	9.7E+06	13.34	3.0E+05	7.8E+06	13.99	6.3E+05	6.2E+06	14.46	5.8E+05	8.9E+06
167	14.69	3.3E+05	9.8E+06	12.34	1.5E+06	9.9E+06	13.53	3.0E+05	7.9E+06	14.21	6.3E+05	6.3E+06	14.69	5.8E+05	9.1E+06
168	14.92	3.3E+05	1.0E+07	12.52	1.5E+06	1.0E+07	13.73	3.0E+05	8.0E+06	14.43	6.3E+05	6.4E+06	14.92	5.8E+05	9.3E+06
169	15.15	3.3E+05	1.0E+07	12.71	1.5E+06	1.0E+07	13.93	3.0E+05	8.2E+06	14.65	6.3E+05	6.6E+06	15.15	5.8E+05	9.4E+06
170	15.39	3.3E+05	1.1E+07	12.90	1.5E+06	1.0E+07	14.13	3.0E+05	8.3E+06	14.88	6.3E+05	6.7E+06	15.39	5.8E+05	9.6E+06
171	15.63	3.3E+05	1.1E+07	13.09	1.5E+06	1.1E+07	14.34	3.0E+05	8.4E+06	15.11	6.3E+05	6.8E+06	15.63	5.8E+05	9.7E+06
172	15.88	3.3E+05	1.1E+07	13.29	1.5E+06	1.1E+07	14.55	3.0E+05	8.5E+06	15.34	6.3E+05	7.0E+06	15.88	5.8E+05	9.9E+06
173	16.12	3.3E+05	1.1E+07	13.49	1.5E+06	1.1E+07	14.76	3.0E+05	8.6E+06	15.58	6.3E+05	7.1E+06	16.12	5.8E+05	1.0E+07
174	16.38	3.3E+05	1.2E+07	13.69	1.5E+06	1.1E+07	14.98	3.0E+05	8.8E+06	15.82	6.3E+05	7.2E+06	16.38	5.8E+05	1.0E+07
175	16.63	3.3E+05	1.2E+07	13.89	1.5E+06	1.1E+07	15.19	3.0E+05	8.9E+06	16.07	6.3E+05	7.4E+06	16.63	5.8E+05	1.0E+07
176	16.89	3.3E+05	1.2E+07	14.10	1.5E+06	1.1E+07	15.42	3.0E+05	9.0E+06	16.32	6.3E+05	7.5E+06	16.89	5.8E+05	1.0E+07
177	17.16	3.3E+05	1.2E+07	14.31	1.5E+06	1.1E+07	15.64	3.0E+05	9.2E+06	16.57	6.3E+05	7.7E+06	17.16	5.8E+05	1.1E+07
178	17.42	3.3E+05	1.3E+07	14.52	1.5E+06	1.2E+07	15.87	3.0E+05	9.3E+06	16.83	6.3E+05	7.8E+06	17.42	5.8E+05	1.1E+07
179	17.70	3.3E+05	1.3E+07	14.74	1.5E+06	1.2E+07	16.10	3.0E+05	9.4E+06	17.09	6.3E+05	7.9E+06	17.70	5.8E+05	1.1E+07
180	17.97	3.3E+05	1.3E+07	14.96	1.5E+06	1.2E+07	16.33	3.0E+05	9.5E+06	17.35	6.3E+05	8.1E+06	17.97	5.8E+05	1.1E+07
181	18.25	3.3E+05	1.3E+07	15.18	1.5E+06	1.2E+07	16.57	3.0E+05	9.6E+06	17.62	6.3E+05	8.2E+06	18.25	5.8E+05	1.1E+07
182	18.54	3.3E+05	1.3E+07	15.41	1.5E+06	1.2E+07	16.81	3.0E+05	9.7E+06	17.89	6.3E+05	8.3E+06	18.54	5.8E+05	1.1E+07
183	18.83	3.3E+05	1.4E+07	15.64	1.5E+06	1.2E+07	17.06	3.0E+05	9.9E+06	18.17	6.3E+05	8.5E+06	18.83	5.8E+05	1.1E+07
184	19.12	3.3E+05	1.4E+07	15.87	1.5E+06	1.2E+07	17.31	3.0E+05	1.0E+07	18.45	6.3E+05	8.6E+06	19.12	5.8E+05	1.2E+07
185	19.42	3.3E+05	1.4E+07	16.11	1.5E+06	1.2E+07	17.56	3.0E+05	1.0E+07	18.74	6.3E+05	8.7E+06	19.42	5.8E+05	1.2E+07
186	19.72	3.3E+05	1.4E+07	16.35	1.5E+06	1.2E+07	17.82	3.0E+05	1.0E+07	19.03	6.3E+05	8.9E+06	19.72	5.8E+05	1.2E+07
187	20.03	3.3E+05	1.4E+07	16.59	1.5E+06	1.3E+07	18.08	3.0E+05	1.0E+07	19.32	6.3E+05	9.0E+06	20.03	5.8E+05	1.2E+07
188	20.35	3.3E+05	1.5E+07	16.84	1.5E+06	1.3E+07	18.34	3.0E+05	1.0E+07	19.62	6.3E+05	9.1E+06	20.35	5.8E+05	1.2E+07
189	20.66	3.3E+05	1.5E+07	17.09	1.5E+06	1.3E+07	18.61	3.0E+05	1.1E+07	19.93	6.3E+05	9.2E+06	20.66	5.8E+05	1.2E+07
190	20.99	3.3E+05	1.5E+07	17.35	1.5E+06	1.3E+07	18.88	3.0E+05	1.1E+07	20.24	6.3E+05	9.3E+06	20.99	5.8E+05	1.2E+07
191	21.32	3.3E+05	1.5E+07	17.60	1.5E+06	1.3E+07	19.15	3.0E+05	1.1E+07	20.55	6.3E+05	9.4E+06	21.32	5.8E+05	1.2E+07
192	21.65	3.3E+05	1.5E+07	17.87	1.5E+06	1.3E+07	19.43	3.0E+05	1.1E+07	20.87	6.3E+05	9.5E+06	21.65	5.8E+05	1.2E+07
193	21.99	3.3E+05	1.5E+07	18.13	1.5E+06	1.3E+07	19.72	3.0E+05	1.1E+07	21.19	6.3E+05	9.6E+06	21.99	5.8E+05	1.3E+07
194	22.33	3.3E+05	1.6E+07	18.40	1.5E+06	1.3E+07	20.00	3.0E+05	1.1E+07	21.52	6.3E+05	9.7E+06	22.33	5.8E+05	1.3E+07
195	22.68	3.3E+05	1.6E+07	18.68	1.5E+06	1.3E+07	20.29	3.0E+05	1.1E+07	21.85	6.3E+05	9.8E+06	22.68	5.8E+05	1.3E+07
196	23.03	3.3E+05	1.6E+07	18.96	1.5E+06	1.3E+07	20.59	3.0E+05	1.1E+07	22.19	6.3E+05	9.9E+06	23.03	5.8E+05	1.3E+07
197	23.39	3.3E+05	1.6E+07	19.24	1.5E+06	1.3E+07	20.89	3.1E+05	1.1E+07	22.54	6.3E+05	9.9E+06	23.39	5.8E+05	1.3E+07
198	23.76	3.3E+05	1.6E+07	19.53	1.5E+06	1.3E+07	21.19	3.1E+05	1.1E+07	22.88	6.3E+05	1.0E+07	23.76	5.8E+05	1.3E+07
199	24.13	3.3E+05	1.6E+07	19.82	1.5E+06	1.3E+07	21.50	3.1E+05	1.1E+07	23.24	6.3E+05	1.0E+07	24.13	5.8E+05	1.3E+07
200	24.51	3.3E+05	1.6E+07	20.11	1.5E+06	1.3E+07	21.82	3.1E+05	1.2E+07	23.60	6.3E+05	1.0E+07	24.51	5.8E+05	1.3E+07
201	24.89	3.3E+05	1.6E+07	20.41	1.5E+06	1.3E+07	22.13	3.1E+05	1.2E+07	23.97	6.3E+05	1.0E+07	24.89	5.8E+05	1.3E+07
202	25.28	3.3E+05	1.6E+07	20.72	1.5E+06	1.3E+07	22.46	3.1E+05	1.2E+07	24.34	6.3E+05	1.0E+07	25.28	5.8E+05	1.3E+07
203	25.68	3.3E+05	1.6E+07	21.02	1.5E+06	1.3E+07	22.78	3.1E+05	1.2E+07	24.71	6.3E+05	1.0E+07	25.68	5.8E+05	1.3E+07
204	26.08	3.3E+05	1.7E+07	21.34	1.5E+06	1.3E+07	23.12	3.1E+05	1.2E+07	25.10	6.3E+05	1.1E+07	26.08	5.8E+05	1.3E+07
205	26.48	3.3E+05	1.7E+07	21.66	1.5E+06	1.3E+07	23.45	3.1E+05	1.2E+07	25.49	6.3E+05	1.1E+07	26.48	5.8E+05	1.3E+07
206	26.90	3.3E+05	1.7E+07	21.98	1.5E+06	1.3E+07	23.80	3.1E+05	1.2E+07	25.88	6.3E+05	1.1E+07	26.90	5.8E+05	1.3E+07
207	27.32	3.3E+05	1.7E+07	22.31	1.5E+06	1.3E+07	24.14	3.1E+05	1.2E+07	26.28	6.3E+05	1.1E+07	27.32	5.8E+05	1.3E+07
208	27.75	3.3E+05	1.7E+07	22.64	1.5E+06	1.4E+07	24.49	3.1E+05	1.2E+07	26.69	6.3E+05	1.1E+07	27.75	5.8E+05	1.3E+07
209	28.18	3.3E+05	1.7E+07	22.98	1.5E+06	1.4E+07	24.85	3.1E+05	1.2E+07	27.10	6.3E+05	1.1E+07	28.18	5.8E+05	1.4E+07
210	28.62	3.3E+05	1.7E+07	23.32	1.5E+06	1.4E+07	25.21	3.1E+05	1.2E+07	27.52	6.3E+05	1.1E+07	28.62	5.8E+05	1.4E+07
211	29.07	3.3E+05	1.7E+07	23.67	1.5E+06	1.4E+07	25.58	3.1E+05	1.2E+07	27.95	6.3E+05	1.1E+07	29.07	5.9E+05	1.4E+07
212	29.52	3.3E+05	1.7E+07	24.02	1.5E+06	1.4E+07	25.95	3.1E+05	1.2E+07	28.38	6.3E+05	1.1E+07	29.52	5.9E+05	1.4E+07
213	29.98	3.3E+05	1.7E+07	24.38	1.5E+06	1.4E+07	26.33	3.1E+05	1.2E+07	28.82	6.3E+05	1.1E+07	29.98	5.9E+05	1.4E+07
214	30.45	3.3E+05	1.7E+07	24.74	1.5E+06	1.4E+07	26.72	3.1E+05	1.2E+07	29.27	6.3E+05	1.1E+07	30.45	5.9E+05	1.4E+07
215	30.93	3.3E+05	1.7E+07	25.11	1.5E+06	1.4E+07	27.10	3.1E+05	1.2E+07	29.72	6.3E+05	1.1E+07	30.93	5.9E+05	1.4E+07
216	31.41	3.3E+05	1.7E+07	25.49	1.5E+06	1.4E+07	27.50	3.1E+05	1.2E+07	30.18	6.3E+05	1.1E+07	31.41	5.9E+05	1.4E+07
217	31.90	3.3E+05	1.7E+07	25.87	1.5E+06	1.4E+07	27.90	3.1E+05	1.3E+07	30.65	6.3E+05	1.1E+07	31.90	5.9E+05	1.4E+07
218	32.40	3.3E+05	1.8E+07	26.25	1.5E+06	1.4E+07	28.31	3.1E+05	1.3E+07	31.12	6.3E+05	1.1E+07	32.40	5.9E+05	1.4E+07
219	32.91	3.3E+05	1.8E+07	26.64	1.5E+06	1.4E+07	28.72	3.1E+05	1.3E+07	31.61	6.3E+05	1.2E+07	32.91	5.9E+05	1.4E+07
220	33.42	3.3E+05	1.8E+07	27.04	1.5E+06	1.4E+07	29.14	3.1E+05	1.3E+07	32.10	6.3E+05	1.2E+07	33.42	5.9E+05	1.4E+07
221	33.94	3.3E+05	1.8E+07	27.44	1.5E+06	1.4E+07	29.56	3.1E+05	1.3E+07	32.59	6.3E+05	1.2E+07	33.94	5.9E+05	1.4E+07
222	34.47	3.3E+05	1.8E+07	27.85	1.5E+06	1.4E+07	29.99	3.1E+05	1.3E+07	33.10	6.3E+05	1.2E+07	34.47	5.9E+05	1.4E+07
223	35.01	3.3E+05	1.8E+07	28.27	1.5E+06	1.4E+07	30.43	3.1E+05	1.3E+07	33.61	6.3E+05	1.2E+07	35.01	5.9E+05	1.4E+07
224	35.56	3.3E+05	1.8E+07	28.69	1.5E+06	1.4E+07	30.87	3.1E+05	1.3E+07	34.13	6.3E+05	1.2E+07	35.56	5.9E+05	1.4E+07
225	36.12	3.3E+05	1.8E+07	29.12	1.5E+06	1.4E+07	31.32	3.1E+05	1.3E+07	34.66	6.3E+05	1.2E+07	36.12	5.9E+05	1.4E+07
226	36.68	3.3E+05	1.8E+07	29.55	1.5E+06	1.4E+07	31.78	3.1E+05	1.3E+07	35.20	6.3E+05	1.2E+07	36.68	5.9E+05	1.4E+07
227	37.25	3.3E+05	1.8E+07	29.99	1.5E+06	1.4E+07	32.24	3.1E+05	1.3E+07	35.74	6.3E+05	1.2E+07	37.25	5.9E+05	1.4E+07
228	37.84	3.3E+05	1.8E+07	30.44	1.5E+06	1.4E+07	32.71	3.1E+05	1.3E+07	36.30	6.3E+05	1.2E+07	37.84	5.9E+05	1.4E+07
229	38.43	3.3													

Canal	Diam	Efluente M1 12mayo2008		Diam	Efluente M2 19mayo2008		Diam	Efluente M3 26mayo2008		Diam	Efluente M4 2junio2008		Diam	Efl Lodos activados Promedio	
		µm	Número /mL		µm <sup>3</sup> / mL	µm		Número /mL	µm <sup>3</sup> / mL		µm	Número /mL		µm <sup>3</sup> / mL	µm
247	50.80	3.3E+05	1.8E+07	40.32	1.5E+06	1.4E+07	43.06	3.1E+05	1.3E+07	48.61	6.3E+05	1.3E+07	50.80	5.9E+05	1.5E+07
248	51.60	3.3E+05	1.8E+07	40.92	1.5E+06	1.4E+07	43.69	3.1E+05	1.3E+07	49.37	6.3E+05	1.3E+07	51.60	5.9E+05	1.5E+07
249	52.40	3.3E+05	1.8E+07	41.53	1.5E+06	1.4E+07	44.33	3.1E+05	1.3E+07	50.13	6.3E+05	1.3E+07	52.40	5.9E+05	1.5E+07
250	53.22	3.3E+05	1.8E+07	42.15	1.5E+06	1.4E+07	44.97	3.1E+05	1.3E+07	50.91	6.3E+05	1.3E+07	53.22	5.9E+05	1.5E+07
251	54.05	3.3E+05	1.8E+07	42.78	1.5E+06	1.4E+07	45.63	3.1E+05	1.3E+07	51.70	6.3E+05	1.3E+07	54.05	5.9E+05	1.5E+07
252	54.90	3.3E+05	1.8E+07	43.42	1.5E+06	1.4E+07	46.29	3.1E+05	1.3E+07	52.50	6.3E+05	1.3E+07	54.90	5.9E+05	1.5E+07
253	55.76	3.3E+05	1.8E+07	44.07	1.5E+06	1.4E+07	46.97	3.1E+05	1.3E+07	53.31	6.3E+05	1.3E+07	55.76	5.9E+05	1.5E+07
254	56.63	3.3E+05	1.8E+07	44.72	1.5E+06	1.4E+07	47.65	3.1E+05	1.3E+07	54.14	6.3E+05	1.3E+07	56.63	5.9E+05	1.5E+07
255	57.51	3.3E+05	1.8E+07	45.39	1.5E+06	1.4E+07	48.35	3.1E+05	1.3E+07	54.98	6.3E+05	1.3E+07	57.51	5.9E+05	1.5E+07
256	58.41	3.3E+05	1.8E+07	46.07	1.5E+06	1.4E+07	49.05	3.1E+05	1.3E+07	55.83	6.3E+05	1.3E+07	58.41	5.9E+05	1.5E+07
	59.32	3.3E+05	1.8E+07	46.76	1.5E+06	1.4E+07	49.77	3.1E+05	1.3E+07	56.69	6.3E+05	1.3E+07	59.32	5.9E+05	1.5E+07

**Tabla B5** Distribución de tamaño de partícula promedio del filtro rociador

Canal	Diam	Efluente M1 12mayo2008		Diam	Efluente M2 19mayo2008		Diam	Efluente M3 26mayo2008		Diam	Efluente M4 2junio2008		Diam	Efl Filtro rociador Promedio	
		µm	Número /mL		µm <sup>3</sup> / mL	µm		Número /mL	µm <sup>3</sup> / mL		µm	Número /mL		µm <sup>3</sup> / mL	µm
<b>Efluente del filtro rociador</b>															
1	1.12	0.0E+00	0.0E+00	1.06	0.0E+00	0.0E+00	1.23	0.0E+00	0.0E+00	1.11	0.0E+00	0.0E+00	1.12	0.0E+00	0.0E+00
2	1.14	2.6E+04	2.0E+04	1.07	8.3E+04	5.3E+04	1.24	1.4E+05	1.4E+05	1.12	3.9E+04	2.9E+04	1.14	3.5E+04	2.7E+04
3	1.15	9.7E+04	7.6E+04	1.09	1.7E+05	1.1E+05	1.26	4.3E+05	4.4E+05	1.14	8.0E+04	6.0E+04	1.15	7.2E+04	5.5E+04
4	1.17	1.6E+05	1.3E+05	1.11	2.5E+05	1.7E+05	1.28	7.0E+05	7.3E+05	1.16	1.2E+05	8.9E+04	1.17	1.1E+05	8.4E+04
5	1.19	2.3E+05	1.9E+05	1.13	3.3E+05	2.3E+05	1.30	9.8E+05	1.0E+06	1.18	1.5E+05	1.2E+05	1.19	1.4E+05	1.1E+05
6	1.21	3.0E+05	2.5E+05	1.14	4.1E+05	2.8E+05	1.32	1.2E+06	1.4E+06	1.20	1.9E+05	1.5E+05	1.21	1.7E+05	1.4E+05
7	1.23	3.6E+05	3.1E+05	1.16	4.8E+05	3.4E+05	1.34	1.5E+06	1.7E+06	1.21	2.2E+05	1.8E+05	1.23	2.1E+05	1.8E+05
8	1.25	4.2E+05	3.7E+05	1.18	5.5E+05	4.0E+05	1.36	1.7E+06	2.0E+06	1.23	2.5E+05	2.1E+05	1.25	2.8E+05	2.5E+05
9	1.27	4.8E+05	4.3E+05	1.20	6.2E+05	4.6E+05	1.38	2.0E+06	2.3E+06	1.25	2.8E+05	2.4E+05	1.27	3.8E+05	3.5E+05
10	1.29	5.3E+05	4.9E+05	1.22	6.8E+05	5.2E+05	1.40	2.2E+06	2.6E+06	1.27	3.1E+05	2.7E+05	1.29	4.8E+05	4.6E+05
11	1.31	5.8E+05	5.4E+05	1.24	7.4E+05	5.8E+05	1.43	2.4E+06	2.9E+06	1.29	3.4E+05	3.0E+05	1.31	5.7E+05	5.6E+05
12	1.33	6.2E+05	5.9E+05	1.25	8.0E+05	6.4E+05	1.45	2.6E+06	3.2E+06	1.31	3.6E+05	3.3E+05	1.33	6.7E+05	6.8E+05
13	1.35	6.7E+05	6.5E+05	1.27	8.6E+05	7.0E+05	1.47	2.8E+06	3.5E+06	1.33	3.9E+05	3.7E+05	1.35	7.6E+05	7.9E+05
14	1.37	7.1E+05	7.0E+05	1.29	9.1E+05	7.6E+05	1.49	3.0E+06	3.8E+06	1.35	4.2E+05	4.0E+05	1.37	8.4E+05	9.0E+05
15	1.39	7.5E+05	7.6E+05	1.31	9.6E+05	8.2E+05	1.52	3.1E+06	4.1E+06	1.37	4.4E+05	4.3E+05	1.39	9.2E+05	1.0E+06
16	1.41	7.9E+05	8.2E+05	1.33	1.0E+06	8.8E+05	1.54	3.3E+06	4.4E+06	1.40	4.6E+05	4.6E+05	1.41	1.0E+06	1.1E+06
17	1.43	8.4E+05	8.8E+05	1.36	1.1E+06	9.4E+05	1.56	3.5E+06	4.7E+06	1.42	4.9E+05	4.9E+05	1.43	1.1E+06	1.2E+06
18	1.45	8.7E+05	9.4E+05	1.38	1.1E+06	1.0E+06	1.59	3.6E+06	5.0E+06	1.44	5.1E+05	5.3E+05	1.45	1.1E+06	1.3E+06
19	1.48	9.2E+05	1.0E+06	1.40	1.2E+06	1.1E+06	1.61	3.7E+06	5.3E+06	1.46	5.4E+05	5.7E+05	1.48	1.2E+06	1.5E+06
20	1.50	9.5E+05	1.1E+06	1.42	1.2E+06	1.1E+06	1.63	3.9E+06	5.6E+06	1.48	5.6E+05	6.1E+05	1.50	1.3E+06	1.6E+06
21	1.52	9.9E+05	1.1E+06	1.44	1.2E+06	1.2E+06	1.66	4.0E+06	5.9E+06	1.51	5.8E+05	6.5E+05	1.52	1.3E+06	1.7E+06
22	1.55	1.0E+06	1.2E+06	1.46	1.3E+06	1.3E+06	1.69	4.1E+06	6.1E+06	1.53	6.0E+05	6.9E+05	1.55	1.4E+06	1.8E+06
23	1.57	1.1E+06	1.3E+06	1.49	1.3E+06	1.3E+06	1.71	4.2E+06	6.4E+06	1.56	6.2E+05	7.3E+05	1.57	1.4E+06	1.9E+06
24	1.59	1.1E+06	1.3E+06	1.51	1.4E+06	1.4E+06	1.74	4.3E+06	6.7E+06	1.58	6.4E+05	7.7E+05	1.59	1.5E+06	2.0E+06
25	1.62	1.1E+06	1.4E+06	1.53	1.4E+06	1.5E+06	1.76	4.4E+06	6.9E+06	1.60	6.6E+05	8.0E+05	1.62	1.5E+06	2.1E+06
26	1.64	1.1E+06	1.5E+06	1.56	1.4E+06	1.5E+06	1.79	4.5E+06	7.2E+06	1.63	6.8E+05	8.4E+05	1.64	1.6E+06	2.2E+06
27	1.67	1.2E+06	1.5E+06	1.58	1.5E+06	1.6E+06	1.82	4.6E+06	7.5E+06	1.65	6.9E+05	8.8E+05	1.67	1.6E+06	2.3E+06
28	1.70	1.2E+06	1.6E+06	1.61	1.5E+06	1.6E+06	1.85	4.6E+06	7.7E+06	1.68	7.2E+05	9.3E+05	1.70	1.7E+06	2.4E+06
29	1.72	1.2E+06	1.7E+06	1.63	1.5E+06	1.7E+06	1.87	4.7E+06	8.0E+06	1.71	7.3E+05	9.7E+05	1.72	1.7E+06	2.5E+06
30	1.75	1.3E+06	1.8E+06	1.66	1.5E+06	1.8E+06	1.90	4.8E+06	8.3E+06	1.73	7.5E+05	1.0E+06	1.75	1.8E+06	2.6E+06
31	1.78	1.3E+06	1.8E+06	1.68	1.6E+06	1.8E+06	1.93	4.9E+06	8.6E+06	1.76	7.7E+05	1.1E+06	1.78	1.8E+06	2.7E+06
32	1.80	1.3E+06	1.9E+06	1.71	1.6E+06	1.9E+06	1.96	4.9E+06	8.8E+06	1.79	7.9E+05	1.1E+06	1.80	1.9E+06	2.8E+06
33	1.83	1.3E+06	2.0E+06	1.74	1.6E+06	2.0E+06	1.99	5.0E+06	9.1E+06	1.82	8.0E+05	1.2E+06	1.83	1.9E+06	2.9E+06
34	1.86	1.4E+06	2.1E+06	1.76	1.6E+06	2.0E+06	2.02	5.1E+06	9.4E+06	1.84	8.2E+05	1.2E+06	1.86	1.9E+06	3.0E+06
35	1.89	1.4E+06	2.2E+06	1.79	1.7E+06	2.1E+06	2.05	5.1E+06	9.6E+06	1.87	8.3E+05	1.3E+06	1.89	1.9E+06	3.1E+06
36	1.92	1.4E+06	2.3E+06	1.82	1.7E+06	2.2E+06	2.08	5.2E+06	9.9E+06	1.90	8.4E+05	1.3E+06	1.92	2.0E+06	3.3E+06
37	1.95	1.4E+06	2.4E+06	1.85	1.7E+06	2.2E+06	2.12	5.3E+06	1.0E+07	1.93	8.5E+05	1.4E+06	1.95	2.0E+06	3.4E+06
38	1.98	1.5E+06	2.5E+06	1.88	1.7E+06	2.3E+06	2.15	5.3E+06	1.1E+07	1.96	8.6E+05	1.4E+06	1.98	2.0E+06	3.5E+06
39	2.01	1.5E+06	2.6E+06	1.91	1.7E+06	2.4E+06	2.18	5.4E+06	1.1E+07	1.99	8.8E+05	1.4E+06	2.01	2.0E+06	3.6E+06
40	2.04	1.5E+06	2.7E+06	1.94	1.8E+06	2.4E+06	2.21	5.4E+06	1.1E+07	2.02	8.9E+05	1.5E+06	2.04	2.1E+06	3.7E+06
41	2.07	1.6E+06	2.8E+06	1.97	1.8E+06	2.5E+06	2.25	5.5E+06	1.1E+07	2.05	9.0E+05	1.6E+06	2.07	2.1E+06	3.8E+06
42	2.10	1.6E+06	3.0E+06	2.00	1.8E+06	2.5E+06	2.28	5.5E+06	1.2E+07	2.09	9.2E+05	1.6E+06	2.10	2.1E+06	3.9E+06
43	2.14	1.6E+06	3.1E+06	2.03	1.8E+06	2.6E+06	2.32	5.6E+06	1.2E+07	2.12	9.3E+05	1.7E+06	2.14	2.1E+06	4.1E+06
44	2.17	1.6E+06	3.3E+06	2.06	1.8E+06	2.7E+06	2.35	5.6E+06	1.2E+07	2.15	9.4E+05	1.7E+06	2.17	2.2E+06	4.2E+06
45	2.20	1.7E+06	3.4E+06	2.09	1.8E+06	2.8E+06	2.39	5.7E+06	1.3E+07	2.19	9.6E+05	1.8E+06	2.20	2.2E+06	4.3E+06
46	2.24	1.7E+06	3.6E+06	2.13	1.9E+06	2.8E+06	2.42	5.7E+06	1.3E+07	2.22	9.7E+05	1.9E+06	2.24	2.2E+06	4.4E+06
47	2.27	1.7E+06	3.8E+06	2.16	1.9E+06	2.9E+06	2.46	5.8E+06	1.3E+07	2.25	9.8E+05	1.9E+06	2.27	2.2E+06	4.5E+06
48	2.31	1.8E+06	3.9E+06	2.19	1.9E+06	3.0E+06	2.50	5.8E+06	1.4E+07	2.29	9.8E+05	2.0E+06	2.31	2.2E+06	4.7E+06
49	2.34	1.8E+06	4.1E+06	2.23	1.9E+06	3.0E+06	2.54	5.9E+06	1.4E+07	2.32	9.9E+05	2.0E+06	2.34	2.3E+06	4.8E+06
50	2.38	1.8E+06	4.3E+06	2.26	1.9E+06	3.1E+06	2.58	5.9E+06	1.5E+07	2.36	1.0E+06	2.1E+06	2.38	2.3E+06	4.9E+06
51	2.41	1.8E+06	4.5E+06	2.30	1.9E+06	3.2E+06	2.62	5.9E+06	1.5E+07	2.40	1.0E+06	2.2E+06	2.41	2.3E+06	5.1E+06
52	2.45	1.9E+06	4.7E+06	2.33	1.9E+06	3.3E+06	2.66	6.0E+06	1.5E+07	2.44	1.0E+06	2.2E+06	2.45	2.3E+06	5.2E+06
53	2.49	1.9E+06	4.9E+06	2.37	1.9E+06	3.3E+06	2.70	6.0E+06	1.6E+07	2.47	1.0E+06	2.3E+06	2.49	2.3E+06	5.4E+06
54	2.53	1.9E+06	5.1E+06	2.41	2.0E+06	3.4E+06	2.74	6.1E+06	1.6E						

APÉNDICE B

Canal	Diam µm	Efluente M1 12mayo2008		Diam µm	Efluente M2 19mayo2008		Diam µm	Efluente M3 26mayo2008		Diam µm	Efluente M4 2junio2008		Diam µm	Efl Filtro rociador Promedio	
		Número /mL	µm <sup>3</sup> /mL		Número /mL	µm <sup>3</sup> /mL		Número /mL	µm <sup>3</sup> /mL		Número /mL	µm <sup>3</sup> /mL		Número /mL	µm <sup>3</sup> /mL
64	2.95	2.1E+06	7.3E+06	2.81	2.0E+06	4.3E+06	3.19	6.4E+06	2.1E+07	2.93	1.1E+06	2.9E+06	2.95	2.5E+06	7.2E+06
65	2.99	2.1E+06	7.5E+06	2.85	2.1E+06	4.4E+06	3.23	6.4E+06	2.1E+07	2.98	1.1E+06	3.0E+06	2.99	2.5E+06	7.4E+06
66	3.04	2.1E+06	7.7E+06	2.90	2.1E+06	4.5E+06	3.28	6.5E+06	2.2E+07	3.02	1.1E+06	3.1E+06	3.04	2.5E+06	7.5E+06
67	3.09	2.2E+06	7.9E+06	2.94	2.1E+06	4.6E+06	3.33	6.5E+06	2.3E+07	3.07	1.1E+06	3.1E+06	3.09	2.6E+06	7.7E+06
68	3.14	2.2E+06	8.1E+06	2.99	2.1E+06	4.8E+06	3.38	6.6E+06	2.3E+07	3.12	1.1E+06	3.2E+06	3.14	2.6E+06	7.9E+06
69	3.18	2.2E+06	8.3E+06	3.04	2.1E+06	4.9E+06	3.44	6.6E+06	2.4E+07	3.17	1.1E+06	3.3E+06	3.18	2.6E+06	8.1E+06
70	3.23	2.2E+06	8.4E+06	3.08	2.1E+06	5.0E+06	3.49	6.6E+06	2.5E+07	3.22	1.1E+06	3.3E+06	3.23	2.6E+06	8.3E+06
71	3.28	2.2E+06	8.6E+06	3.13	2.1E+06	5.1E+06	3.54	6.6E+06	2.6E+07	3.27	1.1E+06	3.4E+06	3.28	2.6E+06	8.6E+06
72	3.33	2.2E+06	8.7E+06	3.18	2.1E+06	5.2E+06	3.60	6.7E+06	2.6E+07	3.32	1.1E+06	3.5E+06	3.33	2.6E+06	8.8E+06
73	3.39	2.2E+06	8.9E+06	3.23	2.1E+06	5.3E+06	3.65	6.7E+06	2.7E+07	3.37	1.1E+06	3.6E+06	3.39	2.6E+06	9.0E+06
74	3.44	2.2E+06	9.1E+06	3.28	2.1E+06	5.4E+06	3.71	6.7E+06	2.8E+07	3.42	1.1E+06	3.7E+06	3.44	2.6E+06	9.3E+06
75	3.49	2.2E+06	9.3E+06	3.33	2.1E+06	5.5E+06	3.76	6.8E+06	2.8E+07	3.48	1.1E+06	3.8E+06	3.49	2.7E+06	9.5E+06
76	3.55	2.2E+06	9.4E+06	3.38	2.1E+06	5.6E+06	3.82	6.8E+06	2.9E+07	3.53	1.1E+06	3.9E+06	3.55	2.7E+06	9.8E+06
77	3.60	2.3E+06	9.6E+06	3.44	2.1E+06	5.7E+06	3.88	6.8E+06	3.0E+07	3.58	1.1E+06	3.9E+06	3.60	2.7E+06	1.0E+07
78	3.66	2.3E+06	9.8E+06	3.49	2.1E+06	5.8E+06	3.94	6.8E+06	3.0E+07	3.64	1.1E+06	4.0E+06	3.66	2.7E+06	1.0E+07
79	3.71	2.3E+06	9.9E+06	3.55	2.1E+06	5.9E+06	4.00	6.8E+06	3.1E+07	3.70	1.2E+06	4.0E+06	3.71	2.7E+06	1.0E+07
80	3.77	2.3E+06	1.0E+07	3.60	2.2E+06	6.0E+06	4.06	6.9E+06	3.1E+07	3.76	1.2E+06	4.1E+06	3.77	2.7E+06	1.1E+07
81	3.83	2.3E+06	1.0E+07	3.66	2.2E+06	6.1E+06	4.12	6.9E+06	3.2E+07	3.81	1.2E+06	4.2E+06	3.83	2.7E+06	1.1E+07
82	3.89	2.3E+06	1.0E+07	3.71	2.2E+06	6.2E+06	4.19	6.9E+06	3.3E+07	3.87	1.2E+06	4.3E+06	3.89	2.7E+06	1.1E+07
83	3.95	2.3E+06	1.1E+07	3.77	2.2E+06	6.3E+06	4.25	6.9E+06	3.3E+07	3.93	1.2E+06	4.4E+06	3.95	2.7E+06	1.1E+07
84	4.01	2.3E+06	1.1E+07	3.83	2.2E+06	6.4E+06	4.31	6.9E+06	3.4E+07	3.99	1.2E+06	4.5E+06	4.01	2.7E+06	1.2E+07
85	4.07	2.3E+06	1.1E+07	3.89	2.2E+06	6.5E+06	4.38	6.9E+06	3.4E+07	4.06	1.2E+06	4.6E+06	4.07	2.7E+06	1.2E+07
86	4.14	2.3E+06	1.1E+07	3.95	2.2E+06	6.6E+06	4.45	6.9E+06	3.4E+07	4.12	1.2E+06	4.7E+06	4.14	2.7E+06	1.2E+07
87	4.20	2.3E+06	1.1E+07	4.01	2.2E+06	6.7E+06	4.51	6.9E+06	3.5E+07	4.18	1.2E+06	4.8E+06	4.20	2.7E+06	1.2E+07
88	4.27	2.3E+06	1.1E+07	4.08	2.2E+06	6.8E+06	4.58	6.9E+06	3.5E+07	4.25	1.2E+06	5.0E+06	4.27	2.7E+06	1.2E+07
89	4.33	2.3E+06	1.1E+07	4.14	2.2E+06	6.8E+06	4.65	6.9E+06	3.5E+07	4.32	1.2E+06	5.1E+06	4.33	2.8E+06	1.3E+07
90	4.40	2.3E+06	1.1E+07	4.21	2.2E+06	6.9E+06	4.73	7.0E+06	3.5E+07	4.38	1.2E+06	5.2E+06	4.40	2.8E+06	1.3E+07
91	4.47	2.3E+06	1.2E+07	4.27	2.2E+06	7.0E+06	4.80	7.0E+06	3.6E+07	4.45	1.2E+06	5.4E+06	4.47	2.8E+06	1.3E+07
92	4.54	2.3E+06	1.2E+07	4.34	2.2E+06	7.1E+06	4.87	7.0E+06	3.6E+07	4.52	1.2E+06	5.5E+06	4.54	2.8E+06	1.3E+07
93	4.61	2.3E+06	1.2E+07	4.41	2.2E+06	7.1E+06	4.94	7.0E+06	3.6E+07	4.59	1.2E+06	5.7E+06	4.61	2.8E+06	1.3E+07
94	4.68	2.3E+06	1.2E+07	4.47	2.2E+06	7.2E+06	5.02	7.0E+06	3.6E+07	4.66	1.2E+06	5.9E+06	4.68	2.8E+06	1.3E+07
95	4.75	2.3E+06	1.2E+07	4.54	2.2E+06	7.3E+06	5.10	7.0E+06	3.6E+07	4.74	1.2E+06	6.1E+06	4.75	2.8E+06	1.3E+07
96	4.82	2.3E+06	1.2E+07	4.62	2.2E+06	7.4E+06	5.18	7.0E+06	3.6E+07	4.81	1.2E+06	6.2E+06	4.82	2.8E+06	1.3E+07
97	4.90	2.3E+06	1.2E+07	4.69	2.2E+06	7.4E+06	5.25	7.0E+06	3.6E+07	4.88	1.2E+06	6.3E+06	4.90	2.8E+06	1.4E+07
98	4.97	2.3E+06	1.2E+07	4.76	2.2E+06	7.5E+06	5.33	7.0E+06	3.6E+07	4.96	1.2E+06	6.6E+06	4.97	2.8E+06	1.4E+07
99	5.05	2.3E+06	1.2E+07	4.84	2.2E+06	7.5E+06	5.42	7.0E+06	3.7E+07	5.04	1.2E+06	6.6E+06	5.05	2.8E+06	1.4E+07
100	5.13	2.3E+06	1.2E+07	4.91	2.2E+06	7.6E+06	5.50	7.0E+06	3.7E+07	5.12	1.2E+06	6.8E+06	5.13	2.8E+06	1.4E+07
101	5.21	2.3E+06	1.3E+07	4.99	2.2E+06	7.6E+06	5.58	7.0E+06	3.7E+07	5.20	1.2E+06	6.9E+06	5.21	2.8E+06	1.4E+07
102	5.29	2.3E+06	1.3E+07	5.07	2.2E+06	7.7E+06	5.67	7.0E+06	3.7E+07	5.28	1.2E+06	7.1E+06	5.29	2.8E+06	1.4E+07
103	5.37	2.3E+06	1.3E+07	5.14	2.2E+06	7.8E+06	5.75	7.0E+06	3.7E+07	5.36	1.2E+06	7.4E+06	5.37	2.8E+06	1.4E+07
104	5.45	2.3E+06	1.3E+07	5.23	2.2E+06	7.8E+06	5.84	7.0E+06	3.7E+07	5.44	1.2E+06	7.5E+06	5.45	2.8E+06	1.4E+07
105	5.54	2.3E+06	1.3E+07	5.31	2.2E+06	7.9E+06	5.93	7.0E+06	3.7E+07	5.53	1.2E+06	7.6E+06	5.54	2.8E+06	1.4E+07
106	5.62	2.3E+06	1.3E+07	5.39	2.2E+06	7.9E+06	6.02	7.0E+06	3.7E+07	5.61	1.2E+06	7.8E+06	5.62	2.8E+06	1.4E+07
107	5.71	2.3E+06	1.3E+07	5.47	2.2E+06	8.0E+06	6.11	7.0E+06	3.8E+07	5.70	1.2E+06	7.9E+06	5.71	2.8E+06	1.5E+07
108	5.80	2.3E+06	1.3E+07	5.56	2.2E+06	8.1E+06	6.21	7.0E+06	3.8E+07	5.79	1.2E+06	8.1E+06	5.80	2.8E+06	1.5E+07
109	5.89	2.3E+06	1.3E+07	5.65	2.2E+06	8.1E+06	6.30	7.0E+06	3.8E+07	5.88	1.2E+06	8.3E+06	5.89	2.8E+06	1.5E+07
110	5.98	2.3E+06	1.3E+07	5.73	2.2E+06	8.2E+06	6.40	7.0E+06	3.8E+07	5.97	1.2E+06	8.4E+06	5.98	2.8E+06	1.5E+07
111	6.07	2.3E+06	1.4E+07	5.82	2.2E+06	8.3E+06	6.50	7.0E+06	3.8E+07	6.06	1.2E+06	8.6E+06	6.07	2.8E+06	1.5E+07
112	6.17	2.3E+06	1.4E+07	5.92	2.2E+06	8.3E+06	6.60	7.0E+06	3.8E+07	6.16	1.2E+06	8.7E+06	6.17	2.8E+06	1.5E+07
113	6.26	2.3E+06	1.4E+07	6.01	2.2E+06	8.4E+06	6.70	7.0E+06	3.8E+07	6.26	1.2E+06	8.8E+06	6.26	2.8E+06	1.5E+07
114	6.36	2.3E+06	1.4E+07	6.10	2.2E+06	8.5E+06	6.80	7.0E+06	3.8E+07	6.35	1.2E+06	8.9E+06	6.36	2.8E+06	1.5E+07
115	6.46	2.3E+06	1.4E+07	6.20	2.2E+06	8.5E+06	6.90	7.0E+06	3.9E+07	6.45	1.2E+06	9.1E+06	6.46	2.8E+06	1.5E+07
116	6.56	2.3E+06	1.4E+07	6.29	2.2E+06	8.6E+06	7.01	7.0E+06	3.9E+07	6.55	1.2E+06	9.2E+06	6.56	2.8E+06	1.5E+07
117	6.66	2.3E+06	1.4E+07	6.39	2.2E+06	8.7E+06	7.12	7.0E+06	3.9E+07	6.65	1.2E+06	9.3E+06	6.66	2.8E+06	1.6E+07
118	6.76	2.3E+06	1.4E+07	6.49	2.2E+06	8.7E+06	7.22	7.0E+06	3.9E+07	6.76	1.2E+06	9.5E+06	6.76	2.8E+06	1.6E+07
119	6.87	2.3E+06	1.4E+07	6.59	2.2E+06	8.8E+06	7.33	7.0E+06	3.9E+07	6.86	1.2E+06	9.6E+06	6.87	2.8E+06	1.6E+07
120	6.98	2.3E+06	1.4E+07	6.70	2.2E+06	8.8E+06	7.45	7.0E+06	3.9E+07	6.97	1.2E+06	9.8E+06	6.98	2.8E+06	1.6E+07
121	7.08	2.3E+06	1.5E+07	6.80	2.2E+06	8.9E+06	7.56	7.0E+06	3.9E+07	7.08	1.2E+06	9.9E+06	7.08	2.8E+06	1.6E+07
122	7.19	2.3E+06	1.5E+07	6.91	2.2E+06	9.0E+06	7.68	7.0E+06	3.9E+07	7.19	1.2E+06	1.0E+07	7.19	2.8E+06	1.6E+07
123	7.31	2.3E+06	1.5E+07	7.02	2.2E+06	9.1E+06	7.79	7.0E+06	4.0E+07	7.30	1.2E+06	1.0E+07	7.31	2.8E+06	1.6E+07
124	7.42	2.3E+06	1.5E+07	7.13	2.2E+06	9.1E+06	7.91	7.0E+06	4.0E+07	7.42	1.2E+06	1.0E+07	7.42	2.8E+06	1.6E+07
125	7.53	2.3E+06	1.5E+07	7.24	2.2E+06	9.2E+06	8.03	7.0E+06	4.0E+07	7.53	1.2E+06	1.0E+07	7.53	2.8E+06	1.6E+07
126	7.65	2.3E+06	1.5E+07	7.35	2.2E+06	9.3E+06	8.16	7.0E+06	4.0E+07	7.65	1.2E+06	1.1E+07	7.65	2.8E+06	1.6E+07
127	7.77	2.4E+06	1.5E+07	7.46	2.2E+06	9.3E+06	8.28	7.0E+06	4.0E+07	7.77	1.2E+06	1.1E+07	7.77	2.8E+06	1.6E+07
128	7.89	2.4E+06	1.5E+07	7.58	2.2E+06	9.4E+06	8.41	7.0E+06	4.0E+07	7.89	1.2E+06	1.1E+07	7.89	2.8E+06	1.7E+07
129	8.01	2.4E+06	1.5E+07	7.70	2.2E+06	9.5E+06	8.54	7.0E+06	4.0E+07	8.01	1.2E+06	1.1E+07	8.01	2.8E+06	1.7E+07
130	8.14	2.4E+06	1.5E+07	7.82	2.2E+06	9.5E+06	8.67	7.0E+06	4.0E+07	8.14	1.2E+06	1.1E+07	8.14	2.8E+06	1.7E+07
131	8.26	2.4E+06													

APÉNDICE B

Canal	Diam	Efluente M1 12mayo2008		Diam	Efluente M2 19mayo2008		Diam	Efluente M3 26mayo2008		Diam	Efluente M4 2junio2008		Diam	Efl Filtro rociador Promedio	
		µm	Número /mL		µm <sup>3</sup> /mL	µm		Número /mL	µm <sup>3</sup> /mL		µm	Número /mL		µm <sup>3</sup> /mL	µm
147	10.57	2.4E+06	1.7E+07	10.18	2.2E+06	1.0E+07	11.21	7.0E+06	4.2E+07	10.58	1.3E+06	1.3E+07	10.57	2.8E+06	1.8E+07
148	10.73	2.4E+06	1.7E+07	10.34	2.2E+06	1.1E+07	11.39	7.0E+06	4.2E+07	10.75	1.3E+06	1.3E+07	10.73	2.8E+06	1.8E+07
149	10.90	2.4E+06	1.7E+07	10.50	2.2E+06	1.1E+07	11.56	7.0E+06	4.2E+07	10.92	1.3E+06	1.3E+07	10.90	2.8E+06	1.8E+07
150	11.06	2.4E+06	1.7E+07	10.66	2.2E+06	1.1E+07	11.74	7.0E+06	4.2E+07	11.09	1.3E+06	1.3E+07	11.06	2.8E+06	1.8E+07
151	11.24	2.4E+06	1.7E+07	10.83	2.2E+06	1.1E+07	11.91	7.0E+06	4.2E+07	11.26	1.3E+06	1.4E+07	11.24	2.8E+06	1.8E+07
152	11.41	2.4E+06	1.7E+07	11.00	2.2E+06	1.1E+07	12.10	7.0E+06	4.2E+07	11.43	1.3E+06	1.4E+07	11.41	2.8E+06	1.8E+07
153	11.59	2.4E+06	1.7E+07	11.17	2.2E+06	1.1E+07	12.28	7.0E+06	4.3E+07	11.61	1.3E+06	1.4E+07	11.59	2.8E+06	1.8E+07
154	11.77	2.4E+06	1.7E+07	11.35	2.2E+06	1.1E+07	12.47	7.0E+06	4.3E+07	11.79	1.3E+06	1.4E+07	11.77	2.8E+06	1.8E+07
155	11.95	2.4E+06	1.7E+07	11.52	2.2E+06	1.1E+07	12.66	7.0E+06	4.3E+07	11.98	1.3E+06	1.4E+07	11.95	2.8E+06	1.9E+07
156	12.13	2.4E+06	1.7E+07	11.70	2.2E+06	1.1E+07	12.85	7.0E+06	4.3E+07	12.16	1.3E+06	1.4E+07	12.13	2.8E+06	1.9E+07
157	12.32	2.4E+06	1.7E+07	11.89	2.2E+06	1.1E+07	13.05	7.0E+06	4.3E+07	12.35	1.3E+06	1.4E+07	12.32	2.8E+06	1.9E+07
158	12.51	2.4E+06	1.8E+07	12.07	2.2E+06	1.1E+07	13.25	7.0E+06	4.3E+07	12.55	1.3E+06	1.4E+07	12.51	2.8E+06	1.9E+07
159	12.71	2.4E+06	1.8E+07	12.26	2.2E+06	1.1E+07	13.45	7.0E+06	4.3E+07	12.74	1.3E+06	1.4E+07	12.71	2.8E+06	1.9E+07
160	12.90	2.4E+06	1.8E+07	12.45	2.2E+06	1.1E+07	13.66	7.0E+06	4.3E+07	12.94	1.3E+06	1.4E+07	12.90	2.8E+06	1.9E+07
161	13.10	2.4E+06	1.8E+07	12.65	2.2E+06	1.1E+07	13.87	7.0E+06	4.3E+07	13.14	1.3E+06	1.5E+07	13.10	2.8E+06	1.9E+07
162	13.31	2.4E+06	1.8E+07	12.85	2.2E+06	1.1E+07	14.08	7.0E+06	4.3E+07	13.35	1.3E+06	1.5E+07	13.31	2.8E+06	1.9E+07
163	13.51	2.4E+06	1.8E+07	13.05	2.2E+06	1.1E+07	14.29	7.0E+06	4.4E+07	13.55	1.3E+06	1.5E+07	13.51	2.8E+06	1.9E+07
164	13.72	2.4E+06	1.8E+07	13.25	2.2E+06	1.1E+07	14.51	7.0E+06	4.4E+07	13.76	1.3E+06	1.5E+07	13.72	2.8E+06	1.9E+07
165	13.93	2.4E+06	1.8E+07	13.46	2.2E+06	1.1E+07	14.73	7.0E+06	4.4E+07	13.98	1.3E+06	1.5E+07	13.93	2.8E+06	1.9E+07
166	14.15	2.4E+06	1.8E+07	13.67	2.2E+06	1.2E+07	14.96	7.0E+06	4.4E+07	14.20	1.3E+06	1.5E+07	14.15	2.8E+06	1.9E+07
167	14.37	2.4E+06	1.8E+07	13.88	2.2E+06	1.2E+07	15.19	7.0E+06	4.4E+07	14.42	1.3E+06	1.5E+07	14.37	2.8E+06	1.9E+07
168	14.59	2.4E+06	1.8E+07	14.10	2.2E+06	1.2E+07	15.42	7.0E+06	4.4E+07	14.64	1.3E+06	1.5E+07	14.59	2.8E+06	2.0E+07
169	14.82	2.4E+06	1.8E+07	14.32	2.2E+06	1.2E+07	15.65	7.0E+06	4.4E+07	14.87	1.3E+06	1.5E+07	14.82	2.8E+06	2.0E+07
170	15.05	2.4E+06	1.8E+07	14.54	2.2E+06	1.2E+07	15.89	7.0E+06	4.4E+07	15.10	1.3E+06	1.6E+07	15.05	2.8E+06	2.0E+07
171	15.28	2.4E+06	1.8E+07	14.77	2.2E+06	1.2E+07	16.14	7.0E+06	4.5E+07	15.34	1.3E+06	1.6E+07	15.28	2.8E+06	2.0E+07
172	15.52	2.4E+06	1.8E+07	15.00	2.2E+06	1.2E+07	16.38	7.0E+06	4.5E+07	15.58	1.3E+06	1.6E+07	15.52	2.8E+06	2.0E+07
173	15.76	2.4E+06	1.8E+07	15.23	2.2E+06	1.2E+07	16.63	7.0E+06	4.5E+07	15.82	1.3E+06	1.6E+07	15.76	2.8E+06	2.0E+07
174	16.00	2.4E+06	1.8E+07	15.47	2.2E+06	1.2E+07	16.89	7.0E+06	4.5E+07	16.07	1.3E+06	1.6E+07	16.00	2.8E+06	2.0E+07
175	16.25	2.4E+06	1.8E+07	15.71	2.2E+06	1.2E+07	17.14	7.0E+06	4.5E+07	16.32	1.3E+06	1.6E+07	16.25	2.8E+06	2.0E+07
176	16.50	2.4E+06	1.8E+07	15.96	2.2E+06	1.2E+07	17.41	7.0E+06	4.5E+07	16.57	1.3E+06	1.6E+07	16.50	2.8E+06	2.0E+07
177	16.76	2.4E+06	1.8E+07	16.21	2.2E+06	1.2E+07	17.67	7.0E+06	4.6E+07	16.83	1.3E+06	1.7E+07	16.76	2.8E+06	2.0E+07
178	17.02	2.4E+06	1.8E+07	16.46	2.2E+06	1.3E+07	17.94	7.0E+06	4.6E+07	17.09	1.3E+06	1.7E+07	17.02	2.8E+06	2.1E+07
179	17.28	2.4E+06	1.9E+07	16.72	2.2E+06	1.3E+07	18.22	7.0E+06	4.6E+07	17.36	1.3E+06	1.7E+07	17.28	2.8E+06	2.1E+07
180	17.55	2.4E+06	1.9E+07	16.98	2.2E+06	1.3E+07	18.49	7.0E+06	4.6E+07	17.63	1.3E+06	1.7E+07	17.55	2.8E+06	2.1E+07
181	17.82	2.4E+06	1.9E+07	17.25	2.2E+06	1.3E+07	18.78	7.0E+06	4.6E+07	17.90	1.3E+06	1.7E+07	17.82	2.8E+06	2.1E+07
182	18.10	2.4E+06	1.9E+07	17.52	2.2E+06	1.3E+07	19.06	7.0E+06	4.6E+07	18.18	1.3E+06	1.7E+07	18.10	2.8E+06	2.1E+07
183	18.38	2.4E+06	1.9E+07	17.79	2.2E+06	1.3E+07	19.36	7.0E+06	4.6E+07	18.47	1.3E+06	1.8E+07	18.38	2.8E+06	2.1E+07
184	18.66	2.4E+06	1.9E+07	18.07	2.2E+06	1.3E+07	19.65	7.0E+06	4.7E+07	18.75	1.3E+06	1.8E+07	18.66	2.8E+06	2.1E+07
185	18.95	2.4E+06	1.9E+07	18.35	2.2E+06	1.3E+07	19.95	7.0E+06	4.7E+07	19.05	1.3E+06	1.8E+07	18.95	2.8E+06	2.1E+07
186	19.25	2.4E+06	1.9E+07	18.64	2.2E+06	1.3E+07	20.26	7.0E+06	4.7E+07	19.34	1.3E+06	1.8E+07	19.25	2.8E+06	2.1E+07
187	19.54	2.4E+06	1.9E+07	18.93	2.2E+06	1.3E+07	20.57	7.0E+06	4.7E+07	19.64	1.3E+06	1.8E+07	19.54	2.8E+06	2.2E+07
188	19.85	2.4E+06	1.9E+07	19.22	2.2E+06	1.3E+07	20.88	7.0E+06	4.7E+07	19.95	1.3E+06	1.9E+07	19.85	2.8E+06	2.2E+07
189	20.15	2.4E+06	1.9E+07	19.53	2.2E+06	1.3E+07	21.20	7.0E+06	4.7E+07	20.26	1.3E+06	1.9E+07	20.15	2.8E+06	2.2E+07
190	20.47	2.4E+06	1.9E+07	19.83	2.2E+06	1.3E+07	21.52	7.0E+06	4.8E+07	20.58	1.3E+06	1.9E+07	20.47	2.8E+06	2.2E+07
191	20.78	2.4E+06	1.9E+07	20.14	2.2E+06	1.4E+07	21.85	7.0E+06	4.8E+07	20.90	1.3E+06	1.9E+07	20.78	2.8E+06	2.2E+07
192	21.11	2.4E+06	1.9E+07	20.46	2.2E+06	1.4E+07	22.19	7.0E+06	4.8E+07	21.22	1.3E+06	1.9E+07	21.11	2.8E+06	2.2E+07
193	21.43	2.4E+06	1.9E+07	20.78	2.2E+06	1.4E+07	22.52	7.0E+06	4.8E+07	21.55	1.3E+06	2.0E+07	21.43	2.8E+06	2.2E+07
194	21.77	2.4E+06	1.9E+07	21.10	2.2E+06	1.4E+07	22.87	7.0E+06	4.8E+07	21.89	1.3E+06	2.0E+07	21.77	2.8E+06	2.2E+07
195	22.10	2.4E+06	1.9E+07	21.43	2.2E+06	1.4E+07	23.22	7.0E+06	4.8E+07	22.23	1.3E+06	2.0E+07	22.10	2.8E+06	2.3E+07
196	22.44	2.4E+06	1.9E+07	21.76	2.2E+06	1.4E+07	23.57	7.0E+06	4.9E+07	22.58	1.3E+06	2.0E+07	22.44	2.8E+06	2.3E+07
197	22.79	2.4E+06	2.0E+07	22.10	2.2E+06	1.4E+07	23.93	7.0E+06	4.9E+07	22.93	1.3E+06	2.0E+07	22.79	2.8E+06	2.3E+07
198	23.15	2.4E+06	2.0E+07	22.45	2.2E+06	1.4E+07	24.30	7.0E+06	4.9E+07	23.29	1.3E+06	2.1E+07	23.15	2.8E+06	2.3E+07
199	23.50	2.4E+06	2.0E+07	22.80	2.2E+06	1.4E+07	24.67	7.0E+06	4.9E+07	23.65	1.3E+06	2.1E+07	23.50	2.8E+06	2.3E+07
200	23.87	2.4E+06	2.0E+07	23.16	2.2E+06	1.4E+07	25.05	7.0E+06	4.9E+07	24.02	1.3E+06	2.1E+07	23.87	2.8E+06	2.3E+07
201	24.24	2.4E+06	2.0E+07	23.52	2.2E+06	1.4E+07	25.43	7.0E+06	4.9E+07	24.39	1.3E+06	2.1E+07	24.24	2.8E+06	2.3E+07
202	24.61	2.4E+06	2.0E+07	23.89	2.2E+06	1.4E+07	25.82	7.0E+06	5.0E+07	24.77	1.3E+06	2.1E+07	24.61	2.8E+06	2.3E+07
203	25.00	2.4E+06	2.0E+07	24.26	2.2E+06	1.5E+07	26.21	7.0E+06	5.0E+07	25.16	1.3E+06	2.2E+07	25.00	2.8E+06	2.3E+07
204	25.38	2.4E+06	2.0E+07	24.64	2.2E+06	1.5E+07	26.61	7.0E+06	5.0E+07	25.55	1.3E+06	2.2E+07	25.38	2.8E+06	2.4E+07
205	25.78	2.4E+06	2.0E+07	25.02	2.2E+06	1.5E+07	27.02	7.0E+06	5.0E+07	25.95	1.3E+06	2.2E+07	25.78	2.8E+06	2.4E+07
206	26.18	2.4E+06	2.0E+07	25.42	2.2E+06	1.5E+07	27.43	7.0E+06	5.0E+07	26.35	1.3E+06	2.2E+07	26.18	2.8E+06	2.4E+07
207	26.58	2.4E+06	2.0E+07	25.81	2.2E+06	1.5E+07	27.85	7.0E+06	5.0E+07	26.77	1.3E+06	2.3E+07	26.58	2.8E+06	2.4E+07
208	26.99	2.4E+06	2.0E+07	26.22	2.2E+06	1.5E+07	28.28	7.0E+06	5.1E+07	27.18	1.3E+06	2.3E+07	26.99	2.8E+06	2.4E+07
209	27.41	2.4E+06	2.0E+07	26.63	2.2E+06	1.5E+07	28.71	7.0E+06	5.1E+07	27.61	1.3E+06	2.3E+07	27.41	2.8E+06	2.4E+07
210	27.84	2.4E+06	2.0E+07	27.04	2.2E+06	1.5E+07	29.15	7.0E+06	5.1E+07	28.04	1.3E+06	2.3E+07	27.84	2.8E+06	2.4E+07
211	28.27	2.4E+06	2.0E+07	27.47	2.2E+06	1.5E+07	29.59	7.0E+06	5.1E+07	28.47	1.3E+06	2.3E+07	28.27	2.8E+06	2.5E+07
212	28.71	2.4E													

Canal	Diam µm	Efluente M1 12mayo2008		Diam µm	Efluente M2 19mayo2008		Diam µm	Efluente M3 26mayo2008		Diam µm	Efluente M4 2junio2008		Diam µm	Efl Filtro rociador Promedio	
		Número /mL	µm³ / mL		Número /mL	µm³ / mL		Número /mL	µm³ / mL		Número /mL	µm³ / mL		Número /mL	µm³ / mL
230	37.86	2.4E+06	2.1E+07	36.88	2.2E+06	1.7E+07	39.47	7.0E+06	5.5E+07	38.20	1.3E+06	2.8E+07	37.86	2.8E+06	2.7E+07
231	38.44	2.4E+06	2.1E+07	37.45	2.2E+06	1.7E+07	40.08	7.0E+06	5.5E+07	38.79	1.3E+06	2.9E+07	38.44	2.8E+06	2.7E+07
232	39.04	2.4E+06	2.1E+07	38.04	2.2E+06	1.7E+07	40.69	7.0E+06	5.5E+07	39.40	1.3E+06	2.9E+07	39.04	2.8E+06	2.7E+07
233	39.65	2.4E+06	2.1E+07	38.63	2.2E+06	1.7E+07	41.31	7.0E+06	5.5E+07	40.01	1.3E+06	2.9E+07	39.65	2.8E+06	2.7E+07
234	40.26	2.4E+06	2.1E+07	39.24	2.2E+06	1.7E+07	41.94	7.0E+06	5.5E+07	40.64	1.3E+06	2.9E+07	40.26	2.8E+06	2.7E+07
235	40.88	2.4E+06	2.1E+07	39.85	2.2E+06	1.7E+07	42.58	7.0E+06	5.5E+07	41.27	1.3E+06	2.9E+07	40.88	2.8E+06	2.8E+07
236	41.52	2.4E+06	2.1E+07	40.47	2.2E+06	1.7E+07	43.23	7.0E+06	5.6E+07	41.91	1.3E+06	3.0E+07	41.52	2.8E+06	2.8E+07
237	42.16	2.4E+06	2.1E+07	41.11	2.2E+06	1.7E+07	43.89	7.0E+06	5.6E+07	42.57	1.3E+06	3.0E+07	42.16	2.8E+06	2.8E+07
238	42.81	2.4E+06	2.1E+07	41.75	2.2E+06	1.7E+07	44.56	7.0E+06	5.6E+07	43.23	1.3E+06	3.0E+07	42.81	2.8E+06	2.8E+07
239	43.48	2.4E+06	2.1E+07	42.40	2.2E+06	1.7E+07	45.24	7.0E+06	5.6E+07	43.90	1.3E+06	3.0E+07	43.48	2.8E+06	2.8E+07
240	44.15	2.4E+06	2.1E+07	43.06	2.2E+06	1.7E+07	45.94	7.0E+06	5.6E+07	44.59	1.3E+06	3.0E+07	44.15	2.8E+06	2.8E+07
241	44.83	2.4E+06	2.1E+07	43.74	2.2E+06	1.7E+07	46.64	7.0E+06	5.6E+07	45.28	1.3E+06	3.0E+07	44.83	2.8E+06	2.8E+07
242	45.53	2.4E+06	2.1E+07	44.42	2.2E+06	1.7E+07	47.35	7.0E+06	5.6E+07	45.99	1.3E+06	3.0E+07	45.53	2.8E+06	2.8E+07
243	46.23	2.4E+06	2.1E+07	45.11	2.2E+06	1.7E+07	48.07	7.0E+06	5.6E+07	46.70	1.3E+06	3.0E+07	46.23	2.8E+06	2.8E+07
244	46.95	2.4E+06	2.1E+07	45.82	2.2E+06	1.7E+07	48.81	7.0E+06	5.6E+07	47.43	1.3E+06	3.1E+07	46.95	2.8E+06	2.8E+07
245	47.68	2.4E+06	2.1E+07	46.54	2.2E+06	1.7E+07	49.55	7.0E+06	5.6E+07	48.17	1.3E+06	3.1E+07	47.68	2.8E+06	2.8E+07
246	48.42	2.4E+06	2.1E+07	47.26	2.2E+06	1.7E+07	50.31	7.0E+06	5.6E+07	48.92	1.3E+06	3.1E+07	48.42	2.8E+06	2.8E+07
247	49.17	2.4E+06	2.1E+07	48.00	2.2E+06	1.7E+07	51.08	7.0E+06	5.6E+07	49.68	1.3E+06	3.1E+07	49.17	2.8E+06	2.8E+07
248	49.93	2.4E+06	2.1E+07	48.75	2.2E+06	1.7E+07	51.86	7.0E+06	5.6E+07	50.46	1.3E+06	3.1E+07	49.93	2.8E+06	2.8E+07
249	50.70	2.4E+06	2.1E+07	49.51	2.2E+06	1.7E+07	52.65	7.0E+06	5.6E+07	51.24	1.3E+06	3.1E+07	50.70	2.8E+06	2.8E+07
250	51.49	2.4E+06	2.1E+07	50.29	2.2E+06	1.7E+07	53.46	7.0E+06	5.7E+07	52.04	1.3E+06	3.1E+07	51.49	2.8E+06	2.8E+07
251	52.29	2.4E+06	2.1E+07	51.07	2.2E+06	1.7E+07	54.27	7.0E+06	5.7E+07	52.85	1.3E+06	3.1E+07	52.29	2.8E+06	2.8E+07
252	53.10	2.4E+06	2.1E+07	51.87	2.2E+06	1.7E+07	55.10	7.0E+06	5.7E+07	53.68	1.3E+06	3.1E+07	53.10	2.8E+06	2.9E+07
253	53.92	2.4E+06	2.1E+07	52.68	2.2E+06	1.7E+07	55.94	7.0E+06	5.7E+07	54.51	1.3E+06	3.1E+07	53.92	2.8E+06	2.9E+07
254	54.75	2.4E+06	2.1E+07	53.51	2.2E+06	1.7E+07	56.80	7.0E+06	5.7E+07	55.36	1.3E+06	3.1E+07	54.75	2.8E+06	2.9E+07
255	55.60	2.4E+06	2.1E+07	54.34	2.2E+06	1.7E+07	57.67	7.0E+06	5.7E+07	56.23	1.3E+06	3.1E+07	55.60	2.8E+06	2.9E+07
256	56.46	2.4E+06	2.1E+07	55.19	2.2E+06	1.7E+07	58.55	7.0E+06	5.7E+07	57.10	1.3E+06	3.1E+07	56.46	2.8E+06	2.9E+07
	57.34	2.4E+06	2.2E+07	56.05	2.2E+06	1.7E+07	59.44	7.0E+06	5.7E+07	57.99	1.3E+06	3.1E+07	57.34	2.8E+06	2.9E+07

**Tabla B6 Distribución de tamaño de partícula promedio del efluente de la filtración**

Canal	Diam µm	Efluente M1 12mayo2008		Diam µm	Efluente M2 19mayo2008		Diam µm	Efluente M3 26mayo2008		Diam µm	Efluente M4 2junio2008		Diam µm	Efl Filtración Promedio	
		Número /mL	µm³ / mL		Número /mL	µm³ / mL		Número /mL	µm³ / mL		Número /mL	µm³ / mL		Número /mL	µm³ / mL
<b>Efluente de la filtración</b>															
1	1.12	0.0E+00	0.0E+00	1.06	0.0E+00	0.0E+00	1.23	0.0E+00	0.0E+00	1.11	0.0E+00	0.0E+00	1.12	0.0E+00	0.0E+00
2	1.13	1.0E+03	7.6E+02	1.07	1.0E+03	6.3E+02	1.24	9.1E+01	8.9E+01	1.12	8.3E+02	6.0E+02	1.13	6.0E+02	4.5E+02
3	1.15	4.1E+03	3.2E+03	1.09	2.3E+03	1.5E+03	1.26	4.7E+02	4.8E+02	1.14	1.5E+03	1.1E+03	1.15	1.7E+03	1.3E+03
4	1.17	7.1E+03	5.6E+03	1.11	3.3E+03	2.2E+03	1.27	8.4E+02	8.7E+02	1.16	2.0E+03	1.5E+03	1.17	2.8E+03	2.2E+03
5	1.18	1.0E+04	8.3E+03	1.12	4.2E+03	2.8E+03	1.29	9.8E+02	1.0E+03	1.18	2.5E+03	1.9E+03	1.18	4.0E+03	3.2E+03
6	1.20	1.3E+04	1.0E+04	1.14	5.2E+03	3.6E+03	1.30	1.1E+03	1.1E+03	1.20	3.0E+03	2.3E+03	1.20	4.8E+03	4.0E+03
7	1.22	1.5E+04	1.3E+04	1.16	6.4E+03	4.6E+03	1.32	1.2E+03	1.3E+03	1.21	3.3E+03	2.6E+03	1.22	5.7E+03	4.8E+03
8	1.23	1.7E+04	1.5E+04	1.18	7.6E+03	5.6E+03	1.34	1.4E+03	1.5E+03	1.23	3.7E+03	3.0E+03	1.23	6.6E+03	5.6E+03
9	1.25	2.0E+04	1.7E+04	1.20	8.6E+03	6.5E+03	1.35	1.6E+03	1.8E+03	1.25	4.1E+03	3.4E+03	1.25	7.4E+03	6.4E+03
10	1.27	2.2E+04	1.9E+04	1.21	9.5E+03	7.3E+03	1.37	1.8E+03	2.0E+03	1.27	4.4E+03	3.7E+03	1.27	8.2E+03	7.3E+03
11	1.28	2.3E+04	2.1E+04	1.23	1.0E+04	8.2E+03	1.39	1.9E+03	2.1E+03	1.29	4.8E+03	4.2E+03	1.28	8.8E+03	7.9E+03
12	1.30	2.5E+04	2.3E+04	1.25	1.1E+04	8.9E+03	1.41	1.9E+03	2.3E+03	1.31	5.0E+03	4.5E+03	1.30	9.6E+03	8.8E+03
13	1.32	2.7E+04	2.5E+04	1.27	1.2E+04	9.5E+03	1.42	2.1E+03	2.4E+03	1.33	5.2E+03	4.7E+03	1.32	1.0E+04	9.3E+03
14	1.34	2.8E+04	2.7E+04	1.29	1.2E+04	1.0E+04	1.44	2.2E+03	2.7E+03	1.35	5.4E+03	4.9E+03	1.34	1.1E+04	1.0E+04
15	1.36	2.9E+04	2.8E+04	1.31	1.3E+04	1.0E+04	1.46	2.4E+03	2.9E+03	1.38	5.5E+03	5.0E+03	1.36	1.1E+04	1.1E+04
16	1.38	3.1E+04	3.0E+04	1.33	1.3E+04	1.1E+04	1.48	2.5E+03	3.1E+03	1.40	5.6E+03	5.2E+03	1.38	1.2E+04	1.1E+04
17	1.39	3.2E+04	3.2E+04	1.35	1.4E+04	1.2E+04	1.50	2.6E+03	3.3E+03	1.42	5.8E+03	5.5E+03	1.39	1.2E+04	1.2E+04
18	1.41	3.4E+04	3.4E+04	1.37	1.4E+04	1.2E+04	1.52	2.8E+03	3.6E+03	1.44	5.9E+03	5.7E+03	1.41	1.3E+04	1.3E+04
19	1.43	3.5E+04	3.6E+04	1.39	1.4E+04	1.3E+04	1.53	2.9E+03	3.8E+03	1.46	6.0E+03	5.8E+03	1.43	1.3E+04	1.3E+04
20	1.45	3.7E+04	3.9E+04	1.42	1.5E+04	1.3E+04	1.55	3.0E+03	4.0E+03	1.49	6.1E+03	6.0E+03	1.45	1.4E+04	1.4E+04
21	1.47	3.8E+04	4.1E+04	1.44	1.5E+04	1.4E+04	1.57	3.2E+03	4.4E+03	1.51	6.2E+03	6.2E+03	1.47	1.4E+04	1.5E+04
22	1.49	3.9E+04	4.2E+04	1.46	1.6E+04	1.5E+04	1.59	3.4E+03	4.8E+03	1.53	6.3E+03	6.4E+03	1.49	1.4E+04	1.6E+04
23	1.51	4.0E+04	4.4E+04	1.48	1.6E+04	1.5E+04	1.61	3.5E+03	5.0E+03	1.56	6.5E+03	6.7E+03	1.51	1.5E+04	1.6E+04
24	1.54	4.1E+04	4.6E+04	1.51	1.6E+04	1.6E+04	1.63	3.6E+03	5.2E+03	1.58	6.6E+03	6.9E+03	1.54	1.5E+04	1.7E+04
25	1.56	4.2E+04	4.8E+04	1.53	1.7E+04	1.6E+04	1.65	3.6E+03	5.4E+03	1.61	6.7E+03	7.1E+03	1.56	1.5E+04	1.8E+04
26	1.58	4.3E+04	5.0E+04	1.55	1.7E+04	1.7E+04	1.68	3.7E+03	5.6E+03	1.63	6.9E+03	7.5E+03	1.58	1.6E+04	1.8E+04
27	1.60	4.4E+04	5.2E+04	1.58	1.7E+04	1.8E+04	1.70	3.8E+03	5.9E+03	1.66	7.0E+03	7.7E+03	1.60	1.6E+04	1.9E+04
28	1.62	4.4E+04	5.4E+04	1.60	1.8E+04	1.9E+04	1.72	3.9E+03	6.0E+03	1.68	7.0E+03	7.9E+03	1.62	1.7E+04	2.0E+04
29	1.64	4.5E+04	5.6E+04	1.63	1.8E+04	1.9E+04	1.74	3.9E+03	6.1E+03	1.71	7.1E+03	8.2E+03	1.64	1.7E+04	2.1E+04
30	1.67	4.6E+04	5.7E+04	1.65	1.8E+04	2.0E+04	1.76	4.0E+03	6.4E+03	1.74	7.2E+03	8.4E+03	1.67	1.7E+04	2.1E+04
31	1.69	4.7E+04	5.9E+04	1.68	1.9E+04	2.1E+04	1.78	4.1E+03	6.7E+03	1.76	7.3E+03	8.7E+03	1.69	1.7E+04	2.2E+04
32	1.71	4.8E+04	6.1E+04	1.70	1.9E+04	2.2E+04	1.81	4.2E+03	6.8E+03	1.79	7.4E+03	8.9E+03	1.71	1.8E+04	2.3E+04
33	1.74	4.8E+04	6.2E+04	1.73	1.9E+04	2.2E+04	1.83	4.2E+03	7.0E+03	1.82	7.5E+03	9.3E+03	1.74	1.8E+04	2.3E+04
34	1.76	4.9E+04	6.4E+04	1.76	1.9E+04	2.3E+04	1.85	4.3E+03	7.2E+03	1.85	7.6E+03	9.7E+03	1.76	1.8E+04	2.4E+04
35	1.79	5.0E+04	6.7E+04	1.78	2.0E+04	2.3E+04	1.87	4.4E+03	7.4E+03	1.88	7.7E+03	9.9E+03	1.79	1.9E+04	2.5E+04
36	1.81	5.0E+04	6.8E+04	1.81	2.0E+04	2.4E+04	1.90	4.4E+03	7.6E+03	1.91	7.8E+03	1.0E+04	1		

APÉNDICE B

Canal	Diam µm	Efluente M1 12mayo2008		Diam µm	Efluente M2 19mayo2008		Diam µm	Efluente M3 26mayo2008		Diam µm	Efluente M4 2junio2008		Diam µm	Efl Filtración Promedio	
		Número /mL	µm³ / mL		Número /mL	µm³ / mL		Número /mL	µm³ / mL		Número /mL	µm³ / mL		Número /mL	µm³ /mL
47	2.11	5.5E+04	8.7E+04	2.15	2.1E+04	3.0E+04	2.18	5.0E+03	1.0E+04	2.26	8.3E+03	1.2E+04	2.11	2.1E+04	3.3E+04
48	2.13	5.5E+04	8.8E+04	2.18	2.1E+04	3.0E+04	2.21	5.0E+03	1.0E+04	2.30	8.3E+03	1.2E+04	2.13	2.1E+04	3.3E+04
49	2.16	5.5E+04	9.0E+04	2.21	2.2E+04	3.1E+04	2.23	5.1E+03	1.1E+04	2.33	8.3E+03	1.3E+04	2.16	2.1E+04	3.4E+04
50	2.19	5.6E+04	9.2E+04	2.25	2.2E+04	3.2E+04	2.26	5.1E+03	1.1E+04	2.37	8.4E+03	1.3E+04	2.19	2.1E+04	3.5E+04
51	2.22	5.6E+04	9.3E+04	2.28	2.2E+04	3.2E+04	2.29	5.2E+03	1.1E+04	2.41	8.4E+03	1.3E+04	2.22	2.1E+04	3.5E+04
52	2.26	5.6E+04	9.4E+04	2.32	2.2E+04	3.3E+04	2.32	5.2E+03	1.2E+04	2.45	8.5E+03	1.4E+04	2.26	2.1E+04	3.5E+04
53	2.29	5.7E+04	9.6E+04	2.35	2.2E+04	3.3E+04	2.35	5.2E+03	1.2E+04	2.48	8.5E+03	1.4E+04	2.29	2.1E+04	3.6E+04
54	2.32	5.7E+04	9.7E+04	2.39	2.2E+04	3.4E+04	2.38	5.3E+03	1.2E+04	2.52	8.5E+03	1.4E+04	2.32	2.1E+04	3.6E+04
55	2.35	5.7E+04	9.8E+04	2.43	2.2E+04	3.5E+04	2.41	5.3E+03	1.2E+04	2.56	8.5E+03	1.4E+04	2.35	2.1E+04	3.7E+04
56	2.38	5.7E+04	1.0E+05	2.46	2.2E+04	3.5E+04	2.44	5.4E+03	1.2E+04	2.60	8.6E+03	1.5E+04	2.38	2.1E+04	3.8E+04
57	2.42	5.8E+04	1.0E+05	2.50	2.2E+04	3.6E+04	2.47	5.4E+03	1.3E+04	2.64	8.6E+03	1.5E+04	2.42	2.2E+04	3.9E+04
58	2.45	5.8E+04	1.1E+05	2.54	2.2E+04	3.6E+04	2.50	5.5E+03	1.3E+04	2.69	8.6E+03	1.5E+04	2.45	2.2E+04	4.0E+04
59	2.48	5.8E+04	1.1E+05	2.58	2.2E+04	3.7E+04	2.53	5.5E+03	1.4E+04	2.73	8.7E+03	1.5E+04	2.48	2.2E+04	4.0E+04
60	2.52	5.8E+04	1.1E+05	2.62	2.2E+04	3.7E+04	2.56	5.6E+03	1.4E+04	2.77	8.7E+03	1.6E+04	2.52	2.2E+04	4.1E+04
61	2.55	5.8E+04	1.1E+05	2.66	2.2E+04	3.8E+04	2.59	5.6E+03	1.5E+04	2.81	8.7E+03	1.6E+04	2.55	2.2E+04	4.1E+04
62	2.59	5.8E+04	1.1E+05	2.70	2.3E+04	3.8E+04	2.63	5.6E+03	1.5E+04	2.86	8.7E+03	1.6E+04	2.59	2.2E+04	4.2E+04
63	2.62	5.9E+04	1.1E+05	2.74	2.3E+04	3.9E+04	2.66	5.6E+03	1.5E+04	2.90	8.7E+03	1.6E+04	2.62	2.2E+04	4.2E+04
64	2.66	5.9E+04	1.1E+05	2.79	2.3E+04	4.0E+04	2.69	5.7E+03	1.5E+04	2.95	8.7E+03	1.7E+04	2.66	2.2E+04	4.3E+04
65	2.70	5.9E+04	1.1E+05	2.83	2.3E+04	4.0E+04	2.73	5.7E+03	1.5E+04	2.99	8.7E+03	1.7E+04	2.70	2.2E+04	4.4E+04
66	2.73	5.9E+04	1.2E+05	2.87	2.3E+04	4.1E+04	2.76	5.7E+03	1.6E+04	3.04	8.8E+03	1.7E+04	2.73	2.2E+04	4.4E+04
67	2.77	5.9E+04	1.2E+05	2.92	2.3E+04	4.2E+04	2.80	5.8E+03	1.6E+04	3.09	8.8E+03	1.7E+04	2.77	2.2E+04	4.4E+04
68	2.81	5.9E+04	1.2E+05	2.96	2.3E+04	4.3E+04	2.83	5.8E+03	1.7E+04	3.14	8.8E+03	1.7E+04	2.81	2.2E+04	4.5E+04
69	2.85	5.9E+04	1.2E+05	3.01	2.3E+04	4.3E+04	2.87	5.8E+03	1.7E+04	3.19	8.8E+03	1.7E+04	2.85	2.2E+04	4.6E+04
70	2.89	5.9E+04	1.2E+05	3.06	2.3E+04	4.3E+04	2.90	5.9E+03	1.7E+04	3.24	8.8E+03	1.7E+04	2.89	2.2E+04	4.7E+04
71	2.93	6.0E+04	1.2E+05	3.10	2.3E+04	4.3E+04	2.94	5.9E+03	1.8E+04	3.29	8.8E+03	1.7E+04	2.93	2.2E+04	4.7E+04
72	2.97	6.0E+04	1.2E+05	3.15	2.3E+04	4.4E+04	2.98	5.9E+03	1.8E+04	3.34	8.8E+03	1.7E+04	2.97	2.3E+04	4.8E+04
73	3.01	6.0E+04	1.3E+05	3.20	2.3E+04	4.5E+04	3.01	5.9E+03	1.8E+04	3.39	8.8E+03	1.8E+04	3.01	2.3E+04	4.9E+04
74	3.05	6.0E+04	1.3E+05	3.25	2.3E+04	4.6E+04	3.05	5.9E+03	1.8E+04	3.44	8.8E+03	1.8E+04	3.05	2.3E+04	4.9E+04
75	3.09	6.0E+04	1.3E+05	3.30	2.3E+04	4.7E+04	3.09	5.9E+03	1.9E+04	3.50	8.8E+03	1.8E+04	3.09	2.3E+04	4.9E+04
76	3.14	6.0E+04	1.3E+05	3.35	2.3E+04	4.8E+04	3.13	6.0E+03	1.9E+04	3.55	8.9E+03	1.9E+04	3.14	2.3E+04	5.0E+04
77	3.18	6.0E+04	1.3E+05	3.40	2.3E+04	4.8E+04	3.17	6.0E+03	1.9E+04	3.61	8.9E+03	1.9E+04	3.18	2.3E+04	5.1E+04
78	3.22	6.0E+04	1.3E+05	3.46	2.3E+04	4.9E+04	3.21	6.0E+03	1.9E+04	3.67	8.9E+03	1.9E+04	3.22	2.3E+04	5.2E+04
79	3.27	6.1E+04	1.4E+05	3.51	2.3E+04	4.9E+04	3.25	6.0E+03	1.9E+04	3.72	8.9E+03	1.9E+04	3.27	2.3E+04	5.3E+04
80	3.31	6.1E+04	1.4E+05	3.56	2.3E+04	5.0E+04	3.29	6.0E+03	1.9E+04	3.78	8.9E+03	2.0E+04	3.31	2.3E+04	5.3E+04
81	3.36	6.1E+04	1.4E+05	3.62	2.3E+04	5.1E+04	3.33	6.0E+03	2.0E+04	3.84	8.9E+03	2.1E+04	3.36	2.3E+04	5.4E+04
82	3.41	6.1E+04	1.4E+05	3.67	2.3E+04	5.2E+04	3.37	6.0E+03	2.0E+04	3.90	9.0E+03	2.1E+04	3.41	2.3E+04	5.4E+04
83	3.45	6.1E+04	1.4E+05	3.73	2.3E+04	5.3E+04	3.41	6.0E+03	2.0E+04	3.96	9.0E+03	2.2E+04	3.45	2.3E+04	5.5E+04
84	3.50	6.1E+04	1.4E+05	3.79	2.3E+04	5.3E+04	3.46	6.0E+03	2.0E+04	4.02	9.0E+03	2.2E+04	3.50	2.3E+04	5.5E+04
85	3.55	6.1E+04	1.5E+05	3.85	2.3E+04	5.5E+04	3.50	6.1E+03	2.1E+04	4.09	9.0E+03	2.3E+04	3.55	2.3E+04	5.7E+04
86	3.60	6.1E+04	1.5E+05	3.91	2.4E+04	5.6E+04	3.55	6.1E+03	2.1E+04	4.15	9.0E+03	2.4E+04	3.60	2.3E+04	5.7E+04
87	3.65	6.1E+04	1.5E+05	3.97	2.4E+04	5.7E+04	3.59	6.1E+03	2.2E+04	4.22	9.0E+03	2.4E+04	3.65	2.3E+04	5.8E+04
88	3.70	6.1E+04	1.5E+05	4.03	2.4E+04	5.8E+04	3.64	6.1E+03	2.3E+04	4.28	9.1E+03	2.5E+04	3.70	2.3E+04	5.9E+04
89	3.75	6.1E+04	1.5E+05	4.09	2.4E+04	5.8E+04	3.68	6.1E+03	2.3E+04	4.35	9.1E+03	2.5E+04	3.75	2.3E+04	5.9E+04
90	3.80	6.1E+04	1.5E+05	4.16	2.4E+04	5.9E+04	3.73	6.1E+03	2.3E+04	4.42	9.1E+03	2.5E+04	3.80	2.3E+04	6.0E+04
91	3.85	6.1E+04	1.5E+05	4.22	2.4E+04	6.0E+04	3.77	6.1E+03	2.3E+04	4.49	9.1E+03	2.5E+04	3.85	2.3E+04	6.0E+04
92	3.91	6.1E+04	1.5E+05	4.29	2.4E+04	6.0E+04	3.82	6.1E+03	2.3E+04	4.56	9.1E+03	2.5E+04	3.91	2.3E+04	6.1E+04
93	3.96	6.1E+04	1.6E+05	4.35	2.4E+04	6.1E+04	3.87	6.2E+03	2.3E+04	4.63	9.1E+03	2.5E+04	3.96	2.3E+04	6.2E+04
94	4.02	6.1E+04	1.6E+05	4.42	2.4E+04	6.2E+04	3.92	6.2E+03	2.4E+04	4.70	9.1E+03	2.5E+04	4.02	2.3E+04	6.3E+04
95	4.07	6.1E+04	1.6E+05	4.49	2.4E+04	6.4E+04	3.97	6.2E+03	2.4E+04	4.77	9.1E+03	2.5E+04	4.07	2.3E+04	6.4E+04
96	4.13	6.2E+04	1.6E+05	4.56	2.4E+04	6.5E+04	4.02	6.2E+03	2.5E+04	4.85	9.1E+03	2.5E+04	4.13	2.3E+04	6.5E+04
97	4.19	6.2E+04	1.6E+05	4.63	2.4E+04	6.6E+04	4.07	6.2E+03	2.6E+04	4.93	9.1E+03	2.5E+04	4.19	2.3E+04	6.5E+04
98	4.24	6.2E+04	1.7E+05	4.70	2.4E+04	6.6E+04	4.12	6.3E+03	2.7E+04	5.00	9.1E+03	2.5E+04	4.24	2.3E+04	6.6E+04
99	4.30	6.2E+04	1.7E+05	4.77	2.4E+04	6.6E+04	4.17	6.3E+03	2.7E+04	5.08	9.1E+03	2.7E+04	4.30	2.3E+04	6.8E+04
100	4.36	6.2E+04	1.7E+05	4.85	2.4E+04	6.6E+04	4.22	6.3E+03	2.8E+04	5.16	9.1E+03	2.7E+04	4.36	2.3E+04	6.8E+04
101	4.42	6.2E+04	1.8E+05	4.92	2.4E+04	6.7E+04	4.28	6.3E+03	2.8E+04	5.24	9.1E+03	2.7E+04	4.42	2.3E+04	7.0E+04
102	4.48	6.2E+04	1.8E+05	5.00	2.4E+04	6.7E+04	4.33	6.3E+03	2.8E+04	5.32	9.1E+03	2.7E+04	4.48	2.3E+04	7.1E+04
103	4.54	6.2E+04	1.8E+05	5.08	2.4E+04	6.8E+04	4.38	6.3E+03	2.8E+04	5.41	9.1E+03	2.7E+04	4.54	2.3E+04	7.3E+04
104	4.61	6.2E+04	1.9E+05	5.15	2.4E+04	6.9E+04	4.44	6.3E+03	2.9E+04	5.49	9.1E+03	2.8E+04	4.61	2.3E+04	7.3E+04
105	4.67	6.2E+04	1.9E+05	5.23	2.4E+04	7.0E+04	4.50	6.3E+03	3.0E+04	5.58	9.1E+03	2.8E+04	4.67	2.4E+04	7.5E+04
106	4.74	6.2E+04	1.9E+05	5.31	2.4E+04	7.0E+04	4.55	6.3E+03	3.0E+04	5.67	9.1E+03	2.9E+04	4.74	2.4E+04	7.5E+04
107	4.80	6.2E+04	1.9E+05	5.40	2.4E+04	7.1E+04	4.61	6.3E+03	3.0E+04	5.75	9.1E+03	2.9E+04	4.80	2.4E+04	7.5E+04
108	4.87	6.2E+04	1.9E+05	5.48	2.4E+04	7.1E+04	4.67	6.4E+03	3.1E+04	5.84	9.1E+03	3.0E+04	4.87	2.4E+04	7.6E+04
109	4.94	6.2E+04	2.0E+05	5.57	2.4E+04	7.2E+04	4.73	6.4E+03	3.1E+04	5.94	9.1E+03	3.0E+04	4.94	2.4E+04	7.7E+04
110	5.00	6.2E+04	2.0E+05	5.65	2.4E+04	7.3E+04	4.79	6.4E+03	3.2E+04	6.03	9.1E+03	3.1E+04	5.00	2.4E+04	7.8E+04
111	5.07	6.2E+04	2.0E+05	5.74	2.4E+04	7.4E+04	4.85	6.4E+03	3.2E+04	6.12	9.1E+03	3.1E+04	5.07	2.4E+04	7.9E+04
112	5.14	6.2E+04	2.0E+05	5.83	2.4E+04	7.5E+04	4.91	6.4E+03	3.2E+04	6.22	9.1E+03	3.2E+04	5.14	2.4E+04	8.0E+04
113	5.21	6.2E+04	2.1E+05	5.92	2.4E+04	7.6E+04	4.97	6.4E+03	3.3E+04	6.32	9.1E+03	3.2E+04	5.21	2.4E+04	8.0E+04
114	5.29	6.2E+04	2.1E+05	6.01	2.4E+04	7.6E+04									

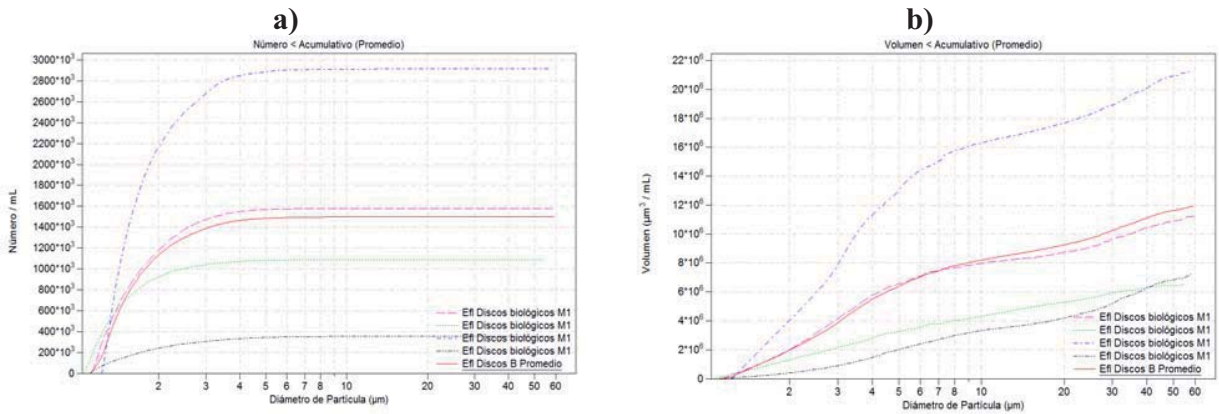
APÉNDICE B

Canal	Diam µm	Efluente M1 12mayo2008		Diam µm	Efluente M2 19mayo2008		Diam µm	Efluente M3 26mayo2008		Diam µm	Efluente M4 2junio2008		Diam µm	Efl Filtración Promedio	
		Número /mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número /mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número /mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número /mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número /mL	µm <sup>3</sup> /mL
130	6.59	6.3E+04	2.3E+05	7.69	2.4E+04	9.0E+04	6.14	6.5E+03	4.0E+04	8.23	9.2E+03	4.0E+04	6.59	2.4E+04	9.2E+04
131	6.68	6.3E+04	2.3E+05	7.81	2.4E+04	9.1E+04	6.22	6.5E+03	4.0E+04	8.36	9.2E+03	4.0E+04	6.68	2.4E+04	9.3E+04
132	6.77	6.3E+04	2.3E+05	7.93	2.4E+04	9.1E+04	6.30	6.5E+03	4.1E+04	8.49	9.2E+03	4.1E+04	6.77	2.4E+04	9.4E+04
133	6.86	6.3E+04	2.3E+05	8.05	2.4E+04	9.2E+04	6.38	6.5E+03	4.1E+04	8.62	9.2E+03	4.2E+04	6.86	2.4E+04	9.4E+04
134	6.96	6.3E+04	2.3E+05	8.17	2.4E+04	9.4E+04	6.46	6.5E+03	4.2E+04	8.76	9.2E+03	4.2E+04	6.96	2.4E+04	9.5E+04
135	7.05	6.3E+04	2.3E+05	8.30	2.4E+04	9.4E+04	6.54	6.5E+03	4.2E+04	8.90	9.2E+03	4.3E+04	7.05	2.4E+04	9.6E+04
136	7.15	6.3E+04	2.4E+05	8.43	2.4E+04	9.6E+04	6.62	6.5E+03	4.3E+04	9.03	9.2E+03	4.4E+04	7.15	2.4E+04	9.6E+04
137	7.25	6.3E+04	2.4E+05	8.56	2.4E+04	9.6E+04	6.71	6.5E+03	4.3E+04	9.18	9.2E+03	4.5E+04	7.25	2.4E+04	9.7E+04
138	7.35	6.3E+04	2.4E+05	8.69	2.4E+04	9.7E+04	6.79	6.5E+03	4.4E+04	9.32	9.2E+03	4.5E+04	7.35	2.4E+04	9.8E+04
139	7.45	6.3E+04	2.4E+05	8.83	2.4E+04	9.7E+04	6.88	6.5E+03	4.5E+04	9.47	9.2E+03	4.6E+04	7.45	2.4E+04	9.9E+04
140	7.56	6.3E+04	2.4E+05	8.96	2.4E+04	9.8E+04	6.96	6.5E+03	4.5E+04	9.61	9.2E+03	4.7E+04	7.56	2.4E+04	9.9E+04
141	7.66	6.3E+04	2.4E+05	9.10	2.4E+04	9.9E+04	7.05	6.5E+03	4.5E+04	9.77	9.2E+03	4.8E+04	7.66	2.4E+04	1.0E+05
142	7.77	6.3E+04	2.4E+05	9.24	2.4E+04	1.0E+05	7.14	6.5E+03	4.6E+04	9.92	9.2E+03	4.9E+04	7.77	2.4E+04	1.0E+05
143	7.87	6.3E+04	2.4E+05	9.39	2.4E+04	1.0E+05	7.23	6.5E+03	4.6E+04	10.07	9.2E+03	4.9E+04	7.87	2.4E+04	1.0E+05
144	7.98	6.3E+04	2.5E+05	9.53	2.4E+04	1.0E+05	7.32	6.5E+03	4.7E+04	10.23	9.2E+03	5.1E+04	7.98	2.4E+04	1.0E+05
145	8.09	6.3E+04	2.5E+05	9.68	2.4E+04	1.1E+05	7.41	6.5E+03	4.8E+04	10.39	9.2E+03	5.1E+04	8.09	2.4E+04	1.0E+05
146	8.20	6.3E+04	2.5E+05	9.83	2.4E+04	1.1E+05	7.50	6.5E+03	4.8E+04	10.56	9.2E+03	5.2E+04	8.20	2.4E+04	1.0E+05
147	8.32	6.3E+04	2.5E+05	9.98	2.4E+04	1.1E+05	7.60	6.5E+03	4.8E+04	10.72	9.2E+03	5.3E+04	8.32	2.4E+04	1.0E+05
148	8.43	6.3E+04	2.5E+05	10.14	2.4E+04	1.1E+05	7.69	6.5E+03	4.9E+04	10.89	9.2E+03	5.5E+04	8.43	2.4E+04	1.0E+05
149	8.55	6.3E+04	2.5E+05	10.30	2.4E+04	1.1E+05	7.79	6.5E+03	5.0E+04	11.06	9.2E+03	5.6E+04	8.55	2.4E+04	1.1E+05
150	8.67	6.3E+04	2.5E+05	10.45	2.4E+04	1.1E+05	7.89	6.5E+03	5.1E+04	11.23	9.2E+03	5.6E+04	8.67	2.4E+04	1.1E+05
151	8.79	6.3E+04	2.6E+05	10.62	2.4E+04	1.1E+05	7.99	6.5E+03	5.1E+04	11.41	9.2E+03	5.7E+04	8.79	2.4E+04	1.1E+05
152	8.91	6.3E+04	2.6E+05	10.78	2.4E+04	1.1E+05	8.09	6.5E+03	5.2E+04	11.59	9.2E+03	5.8E+04	8.91	2.4E+04	1.1E+05
153	9.03	6.3E+04	2.6E+05	10.95	2.4E+04	1.2E+05	8.19	6.5E+03	5.3E+04	11.77	9.2E+03	5.9E+04	9.03	2.4E+04	1.1E+05
154	9.16	6.3E+04	2.6E+05	11.12	2.4E+04	1.2E+05	8.29	6.5E+03	5.3E+04	11.95	9.2E+03	6.2E+04	9.16	2.4E+04	1.1E+05
155	9.28	6.3E+04	2.6E+05	11.29	2.4E+04	1.2E+05	8.40	6.5E+03	5.3E+04	12.14	9.2E+03	6.4E+04	9.28	2.4E+04	1.1E+05
156	9.41	6.3E+04	2.6E+05	11.47	2.4E+04	1.2E+05	8.50	6.5E+03	5.4E+04	12.33	9.2E+03	6.6E+04	9.41	2.4E+04	1.1E+05
157	9.54	6.3E+04	2.6E+05	11.64	2.4E+04	1.2E+05	8.61	6.5E+03	5.4E+04	12.52	9.2E+03	6.7E+04	9.54	2.4E+04	1.1E+05
158	9.67	6.3E+04	2.7E+05	11.82	2.4E+04	1.3E+05	8.72	6.5E+03	5.5E+04	12.72	9.2E+03	6.9E+04	9.67	2.4E+04	1.1E+05
159	9.81	6.3E+04	2.7E+05	12.01	2.4E+04	1.3E+05	8.83	6.5E+03	5.6E+04	12.92	9.2E+03	7.1E+04	9.81	2.4E+04	1.1E+05
160	9.94	6.3E+04	2.7E+05	12.19	2.4E+04	1.3E+05	8.94	6.5E+03	5.6E+04	13.12	9.2E+03	7.5E+04	9.94	2.4E+04	1.2E+05
161	10.08	6.3E+04	2.7E+05	12.38	2.4E+04	1.3E+05	9.05	6.6E+03	5.7E+04	13.33	9.2E+03	7.7E+04	10.08	2.4E+04	1.2E+05
162	10.22	6.3E+04	2.7E+05	12.57	2.4E+04	1.3E+05	9.16	6.6E+03	5.8E+04	13.54	9.2E+03	8.0E+04	10.22	2.4E+04	1.2E+05
163	10.36	6.3E+04	2.7E+05	12.77	2.4E+04	1.3E+05	9.28	6.6E+03	5.9E+04	13.75	9.2E+03	8.4E+04	10.36	2.4E+04	1.2E+05
164	10.51	6.3E+04	2.8E+05	12.97	2.4E+04	1.3E+05	9.40	6.6E+03	5.9E+04	13.97	9.2E+03	8.8E+04	10.51	2.4E+04	1.2E+05
165	10.65	6.3E+04	2.8E+05	13.17	2.4E+04	1.4E+05	9.51	6.6E+03	6.0E+04	14.18	9.2E+03	9.2E+04	10.65	2.4E+04	1.2E+05
166	10.80	6.3E+04	2.8E+05	13.37	2.4E+04	1.4E+05	9.63	6.6E+03	6.0E+04	14.41	9.2E+03	9.4E+04	10.80	2.4E+04	1.2E+05
167	10.95	6.3E+04	2.8E+05	13.58	2.4E+04	1.4E+05	9.76	6.6E+03	6.1E+04	14.63	9.2E+03	9.6E+04	10.95	2.4E+04	1.3E+05
168	11.10	6.3E+04	2.8E+05	13.79	2.4E+04	1.4E+05	9.88	6.6E+03	6.2E+04	14.86	9.3E+03	9.7E+04	11.10	2.4E+04	1.3E+05
169	11.25	6.3E+04	2.8E+05	14.00	2.4E+04	1.4E+05	10.00	6.6E+03	6.3E+04	15.09	9.3E+03	9.8E+04	11.25	2.4E+04	1.3E+05
170	11.41	6.3E+04	2.8E+05	14.22	2.4E+04	1.4E+05	10.13	6.6E+03	6.5E+04	15.33	9.3E+03	9.9E+04	11.41	2.4E+04	1.3E+05
171	11.57	6.3E+04	2.8E+05	14.44	2.4E+04	1.4E+05	10.26	6.6E+03	6.6E+04	15.57	9.3E+03	1.0E+05	11.57	2.4E+04	1.3E+05
172	11.73	6.3E+04	2.9E+05	14.66	2.4E+04	1.5E+05	10.38	6.6E+03	6.8E+04	15.82	9.3E+03	1.0E+05	11.73	2.4E+04	1.3E+05
173	11.89	6.3E+04	2.9E+05	14.89	2.4E+04	1.5E+05	10.52	6.6E+03	7.1E+04	16.06	9.3E+03	1.0E+05	11.89	2.4E+04	1.3E+05
174	12.05	6.3E+04	2.9E+05	15.12	2.4E+04	1.5E+05	10.65	6.6E+03	7.3E+04	16.32	9.3E+03	1.1E+05	12.05	2.4E+04	1.3E+05
175	12.22	6.3E+04	2.9E+05	15.36	2.4E+04	1.5E+05	10.78	6.6E+03	7.6E+04	16.57	9.3E+03	1.1E+05	12.22	2.4E+04	1.4E+05
176	12.39	6.3E+04	2.9E+05	15.59	2.4E+04	1.5E+05	10.92	6.6E+03	7.8E+04	16.83	9.3E+03	1.1E+05	12.39	2.4E+04	1.4E+05
177	12.56	6.3E+04	2.9E+05	15.84	2.4E+04	1.6E+05	11.05	6.6E+03	8.0E+04	17.09	9.3E+03	1.1E+05	12.56	2.4E+04	1.4E+05
178	12.73	6.3E+04	2.9E+05	16.08	2.4E+04	1.6E+05	11.19	6.6E+03	8.1E+04	17.36	9.3E+03	1.1E+05	12.73	2.4E+04	1.4E+05
179	12.91	6.3E+04	2.9E+05	16.33	2.4E+04	1.6E+05	11.33	6.6E+03	8.2E+04	17.63	9.3E+03	1.1E+05	12.91	2.4E+04	1.4E+05
180	13.09	6.3E+04	3.0E+05	16.58	2.4E+04	1.6E+05	11.48	6.6E+03	8.3E+04	17.91	9.3E+03	1.1E+05	13.09	2.4E+04	1.4E+05
181	13.27	6.3E+04	3.0E+05	16.84	2.4E+04	1.7E+05	11.62	6.6E+03	8.4E+04	18.19	9.3E+03	1.1E+05	13.27	2.4E+04	1.4E+05
182	13.45	6.3E+04	3.0E+05	17.10	2.4E+04	1.7E+05	11.77	6.6E+03	8.5E+04	18.48	9.3E+03	1.2E+05	13.45	2.4E+04	1.4E+05
183	13.64	6.3E+04	3.0E+05	17.37	2.4E+04	1.7E+05	11.92	6.6E+03	8.7E+04	18.77	9.3E+03	1.2E+05	13.64	2.4E+04	1.5E+05
184	13.83	6.3E+04	3.0E+05	17.63	2.4E+04	1.8E+05	12.06	6.6E+03	8.8E+04	19.06	9.3E+03	1.2E+05	13.83	2.4E+04	1.5E+05
185	14.02	6.3E+04	3.0E+05	17.91	2.4E+04	1.8E+05	12.22	6.6E+03	9.0E+04	19.36	9.3E+03	1.2E+05	14.02	2.4E+04	1.5E+05
186	14.21	6.3E+04	3.0E+05	18.19	2.4E+04	1.8E+05	12.37	6.6E+03	9.0E+04	19.66	9.3E+03	1.2E+05	14.21	2.4E+04	1.5E+05
187	14.41	6.3E+04	3.1E+05	18.47	2.4E+04	1.9E+05	12.53	6.6E+03	9.1E+04	19.97	9.3E+03	1.2E+05	14.41	2.4E+04	1.5E+05
188	14.61	6.3E+04	3.1E+05	18.75	2.4E+04	1.9E+05	12.68	6.6E+03	9.2E+04	20.28	9.3E+03	1.2E+05	14.61	2.4E+04	1.5E+05
189	14.81	6.3E+04	3.1E+05	19.04	2.4E+04	2.0E+05	12.84	6.6E+03	9.3E+04	20.60	9.3E+03	1.2E+05	14.81	2.4E+04	1.5E+05
190	15.02	6.3E+04	3.1E+05	19.34	2.4E+04	2.0E+05	13.00	6.6E+03	9.4E+04	20.93	9.3E+03	1.2E+05	15.02	2.4E+04	1.6E+05
191	15.22	6.3E+04	3.1E+05	19.64	2.4E+04	2.0E+05	13.17	6.6E+03	9.5E+04	21.25	9.3E+03	1.2E+05	15.22	2.4E+04	1.6E+05
192	15.43	6.3E+04	3.1E+05	19.94	2.4E+04	2.0E+05	13.33	6.6E+03	9.6E+04	21.59	9.3E+03	1.2E+05	15.43	2.4E+04	1.6E+05
193	15.65	6.3E+04	3.2E+05	20.25	2.4E+04	2.1E+05	13.50	6.6E+03	9.7E+04	21.92	9.3E+03	1.3E+05	15.65	2.4E+04	1.6E+05
194	15.86	6.3E+04	3.2E+05	20.57	2.4E+04	2.1E+05	13.67	6.6E+03	9.9E+04	22.27	9.3E+03	1.3E+05	15.86	2.4E+04	1.6E+05
195	16.08	6.3E+04	3.2E+05	20.88	2.4E+04	2.1E+05	13.84	6.6E+03	9.9E+04	22.62	9.3E+03	1.3E+05	16.08		

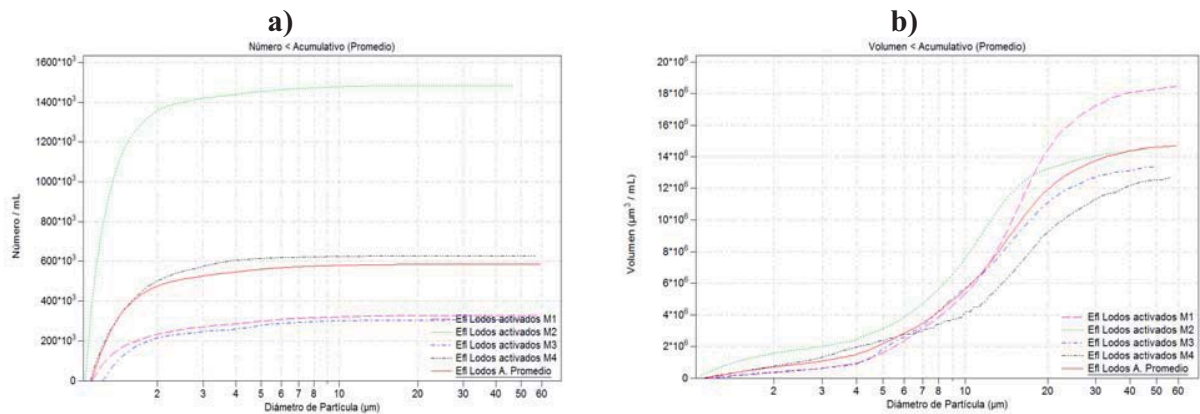
Canal	Diam µm	Efluente M1 12mayo2008		Diam µm	Efluente M2 19mayo2008		Diam µm	Efluente M3 26mayo2008		Diam µm	Efluente M4 2junio2008		Diam µm	Efl Filtración Promedio	
		Número /mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número /mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número /mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número /mL	µm <sup>3</sup> / mL		Número /mL	µm <sup>3</sup> /mL
213	20.60	6.3E+04	3.6E+05	27.54	2.4E+04	2.7E+05	17.33	6.6E+03	1.2E+05	29.92	9.3E+03	2.0E+05	20.60	2.4E+04	1.9E+05
214	20.88	6.3E+04	3.6E+05	27.97	2.4E+04	2.7E+05	17.55	6.6E+03	1.2E+05	30.39	9.3E+03	2.0E+05	20.88	2.4E+04	2.0E+05
215	21.17	6.3E+04	3.6E+05	28.40	2.4E+04	2.8E+05	17.77	6.6E+03	1.3E+05	30.87	9.3E+03	2.0E+05	21.17	2.4E+04	2.0E+05
216	21.46	6.3E+04	3.6E+05	28.84	2.4E+04	2.8E+05	18.00	6.6E+03	1.3E+05	31.35	9.3E+03	2.0E+05	21.46	2.4E+04	2.0E+05
217	21.76	6.3E+04	3.6E+05	29.29	2.4E+04	2.8E+05	18.22	6.6E+03	1.3E+05	31.85	9.3E+03	2.0E+05	21.76	2.4E+04	2.0E+05
218	22.06	6.3E+04	3.6E+05	29.74	2.4E+04	2.8E+05	18.45	6.6E+03	1.3E+05	32.34	9.3E+03	2.0E+05	22.06	2.4E+04	2.0E+05
219	22.36	6.3E+04	3.6E+05	30.21	2.4E+04	2.8E+05	18.68	6.6E+03	1.3E+05	32.85	9.3E+03	2.0E+05	22.36	2.4E+04	2.0E+05
220	22.67	6.3E+04	3.6E+05	30.67	2.4E+04	2.8E+05	18.92	6.6E+03	1.3E+05	33.37	9.3E+03	2.1E+05	22.67	2.4E+04	2.1E+05
221	22.99	6.3E+04	3.7E+05	31.15	2.4E+04	2.8E+05	19.16	6.6E+03	1.3E+05	33.89	9.3E+03	2.1E+05	22.99	2.4E+04	2.1E+05
222	23.31	6.3E+04	3.7E+05	31.63	2.4E+04	2.8E+05	19.40	6.6E+03	1.3E+05	34.42	9.3E+03	2.2E+05	23.31	2.4E+04	2.1E+05
223	23.63	6.3E+04	3.7E+05	32.12	2.4E+04	2.8E+05	19.64	6.6E+03	1.4E+05	34.96	9.3E+03	2.2E+05	23.63	2.4E+04	2.1E+05
224	23.96	6.3E+04	3.7E+05	32.62	2.4E+04	3.0E+05	19.89	6.6E+03	1.4E+05	35.51	9.3E+03	2.2E+05	23.96	2.4E+04	2.1E+05
225	24.29	6.3E+04	3.7E+05	33.12	2.4E+04	3.0E+05	20.14	6.6E+03	1.4E+05	36.06	9.3E+03	2.2E+05	24.29	2.4E+04	2.2E+05
226	24.62	6.3E+04	3.7E+05	33.64	2.4E+04	3.1E+05	20.39	6.6E+03	1.4E+05	36.63	9.3E+03	2.2E+05	24.62	2.4E+04	2.2E+05
227	24.96	6.3E+04	3.8E+05	34.16	2.4E+04	3.1E+05	20.65	6.6E+03	1.4E+05	37.20	9.3E+03	2.2E+05	24.96	2.4E+04	2.2E+05
228	25.31	6.3E+04	3.8E+05	34.69	2.4E+04	3.1E+05	20.91	6.6E+03	1.4E+05	37.79	9.3E+03	2.2E+05	25.31	2.4E+04	2.2E+05
229	25.66	6.3E+04	3.8E+05	35.23	2.4E+04	3.2E+05	21.17	6.6E+03	1.4E+05	38.38	9.3E+03	2.2E+05	25.66	2.4E+04	2.2E+05
230	26.01	6.3E+04	3.8E+05	35.77	2.4E+04	3.2E+05	21.44	6.6E+03	1.5E+05	38.98	9.3E+03	2.2E+05	26.01	2.4E+04	2.3E+05
231	26.37	6.3E+04	3.8E+05	36.33	2.4E+04	3.2E+05	21.71	6.6E+03	1.5E+05	39.59	9.3E+03	2.2E+05	26.37	2.4E+04	2.3E+05
232	26.74	6.3E+04	3.8E+05	36.89	2.4E+04	3.2E+05	21.98	6.6E+03	1.5E+05	40.21	9.3E+03	2.2E+05	26.74	2.4E+04	2.3E+05
233	27.11	6.3E+04	3.8E+05	37.46	2.4E+04	3.2E+05	22.26	6.6E+03	1.5E+05	40.84	9.3E+03	2.2E+05	27.11	2.4E+04	2.4E+05
234	27.48	6.3E+04	3.9E+05	38.04	2.4E+04	3.2E+05	22.54	6.6E+03	1.5E+05	41.48	9.3E+03	2.2E+05	27.48	2.4E+04	2.4E+05
235	27.86	6.3E+04	3.9E+05	38.63	2.4E+04	3.2E+05	22.82	6.6E+03	1.5E+05	42.13	9.3E+03	2.2E+05	27.86	2.4E+04	2.4E+05
236	28.25	6.3E+04	3.9E+05	39.23	2.4E+04	3.2E+05	23.11	6.6E+03	1.5E+05	42.79	9.3E+03	2.2E+05	28.25	2.4E+04	2.4E+05
237	28.64	6.3E+04	3.9E+05	39.84	2.4E+04	3.2E+05	23.40	6.6E+03	1.5E+05	43.46	9.3E+03	2.3E+05	28.64	2.4E+04	2.4E+05
238	29.04	6.3E+04	3.9E+05	40.45	2.4E+04	3.2E+05	23.69	6.6E+03	1.6E+05	44.15	9.3E+03	2.6E+05	29.04	2.4E+04	2.4E+05
239	29.44	6.3E+04	4.0E+05	41.08	2.4E+04	3.2E+05	23.99	6.6E+03	1.6E+05	44.84	9.3E+03	2.6E+05	29.44	2.4E+04	2.4E+05
240	29.84	6.3E+04	4.0E+05	41.72	2.4E+04	3.2E+05	24.29	6.6E+03	1.6E+05	45.54	9.3E+03	2.6E+05	29.84	2.4E+04	2.5E+05
241	30.26	6.3E+04	4.1E+05	42.36	2.4E+04	3.2E+05	24.60	6.6E+03	1.6E+05	46.25	9.3E+03	2.6E+05	30.26	2.4E+04	2.5E+05
242	30.68	6.3E+04	4.1E+05	43.02	2.4E+04	3.2E+05	24.91	6.6E+03	1.7E+05	46.98	9.3E+03	2.6E+05	30.68	2.4E+04	2.5E+05
243	31.10	6.3E+04	4.1E+05	43.69	2.4E+04	3.2E+05	25.22	6.6E+03	1.7E+05	47.72	9.3E+03	2.6E+05	31.10	2.4E+04	2.5E+05
244	31.53	6.3E+04	4.1E+05	44.36	2.4E+04	3.2E+05	25.54	6.6E+03	1.7E+05	48.46	9.3E+03	2.6E+05	31.53	2.4E+04	2.5E+05
245	31.97	6.3E+04	4.1E+05	45.05	2.4E+04	3.2E+05	25.86	6.6E+03	1.7E+05	49.22	9.3E+03	2.9E+05	31.97	2.4E+04	2.5E+05
246	32.41	6.3E+04	4.1E+05	45.75	2.4E+04	3.2E+05	26.18	6.6E+03	1.7E+05	50.00	9.3E+03	3.2E+05	32.41	2.4E+04	2.5E+05
247	32.86	6.3E+04	4.1E+05	46.46	2.4E+04	3.2E+05	26.51	6.6E+03	1.8E+05	50.78	9.3E+03	3.2E+05	32.86	2.4E+04	2.5E+05
248	33.31	6.3E+04	4.1E+05	47.18	2.4E+04	3.2E+05	26.85	6.6E+03	1.8E+05	51.57	9.3E+03	3.2E+05	33.31	2.4E+04	2.6E+05
249	33.77	6.3E+04	4.2E+05	47.91	2.4E+04	3.4E+05	27.18	6.6E+03	1.9E+05	52.38	9.3E+03	3.2E+05	33.77	2.4E+04	2.6E+05
250	34.24	6.3E+04	4.2E+05	48.65	2.4E+04	3.4E+05	27.52	6.6E+03	1.9E+05	53.20	9.3E+03	3.2E+05	34.24	2.4E+04	2.6E+05
251	34.71	6.3E+04	4.2E+05	49.41	2.4E+04	3.4E+05	27.87	6.6E+03	1.9E+05	54.04	9.3E+03	3.2E+05	34.71	2.4E+04	2.6E+05
252	35.19	6.3E+04	4.2E+05	50.17	2.4E+04	3.4E+05	28.22	6.6E+03	1.9E+05	54.89	9.3E+03	3.2E+05	35.19	2.4E+04	2.7E+05
253	35.68	6.3E+04	4.2E+05	50.95	2.4E+04	3.4E+05	28.58	6.6E+03	1.9E+05	55.75	9.3E+03	3.2E+05	35.68	2.4E+04	2.7E+05
254	36.17	6.3E+04	4.2E+05	51.74	2.4E+04	3.4E+05	28.94	6.6E+03	1.9E+05	56.62	9.3E+03	3.2E+05	36.17	2.4E+04	2.7E+05
255	36.67	6.3E+04	4.2E+05	52.54	2.4E+04	3.4E+05	29.30	6.6E+03	1.9E+05	57.51	9.3E+03	3.2E+05	36.67	2.4E+04	2.7E+05
256	37.18	6.3E+04	4.2E+05	53.35	2.4E+04	3.4E+05	29.67	6.6E+03	1.9E+05	58.41	9.3E+03	3.2E+05	37.18	2.4E+04	2.7E+05
37.69	6.3E+04	4.3E+05	54.18	2.4E+04	3.7E+05	30.04	6.6E+03	2.0E+05	59.32	9.3E+03	3.7E+05	37.69	2.4E+04	2.7E+05	

Una vez obtenidos los datos ya procesados éstos se presentan en forma numérica del tamaño y volumen de partículas presentes en las aguas residuales y tratadas por medio de gráficos como los mostrados en las **Figuras B1, B2, B3 y B4**. En estos se observan las distribuciones de forma acumulativa en **a)** número y **b)** volumen de partículas. Los gráficos obtenidos para el influente tanto en número como en volumen son presentados en la **Figura 6.1 a) y b)** de éste trabajo y para esta sección se muestran los gráficos correspondientes a los efluentes estudiados. Las líneas punteadas corresponden a las muestras analizadas y la línea continua al promedio de las distribuciones.

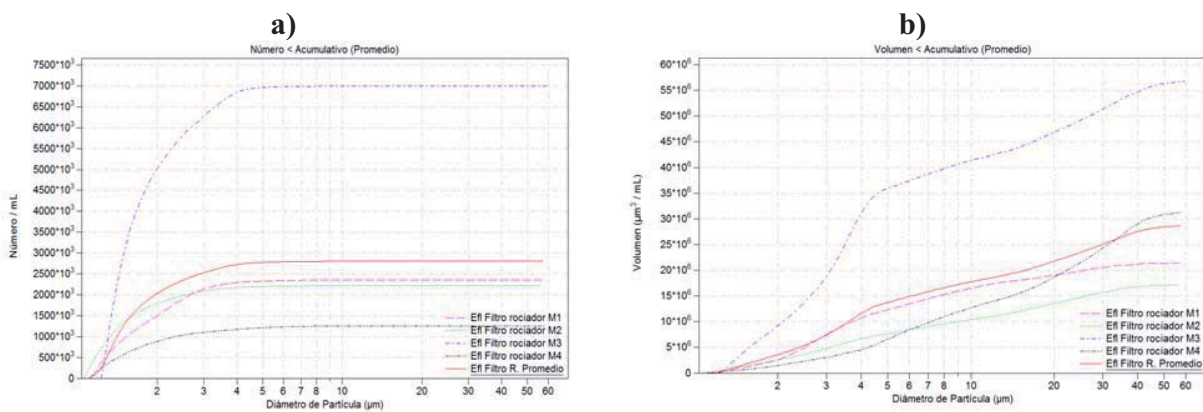




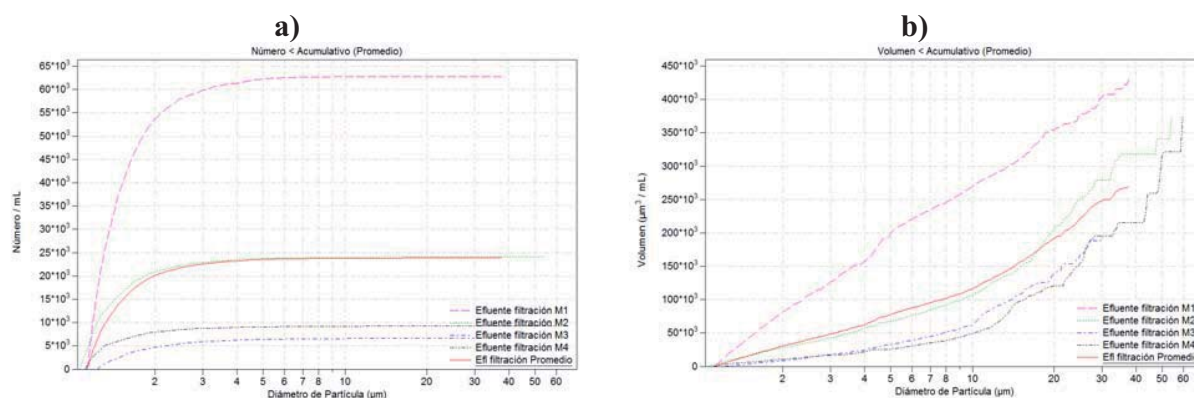
**Figura B1** Distribución acumulada de tamaño de partículas en a) número y b) volumen del efluente del proceso de discos biológicos.



**Figura B2** Distribución acumulada de tamaño de partículas en a) número y b) volumen del efluente del proceso de lodos activados.



**Figura B3** Distribución acumulada de tamaño de partículas en a) número y b) volumen del efluente del proceso del filtro rociador.



**Figura B4** Distribución acumulada de tamaño de partículas en **a)** número y **b)** volumen del efluente de la filtración de la PTAR CU.

Con valores obtenidos de las distribuciones de tamaño de partículas para las muestras se determinaron para cada intervalo de tamaño estudiado el número y el volumen de partículas correspondiente. Estos valores son presentados en la **Tabla B7** para el número y la **Tabla B8** para el volumen de cada uno de los procesos de tratamiento.

**Tabla B7** Distribución de partículas en número por intervalo de tamaño de estudio para cada muestreo y por etapa de tratamiento.

Muestra	Intervalos en número ( $\times 10^6$ Número / mL)			
	< 11 $\mu\text{m}$	11 - 20 $\mu\text{m}$	20 - 60 $\mu\text{m}$	Total
<b>Influente</b>				
M1	68.11	0.02964	0.003544	68.15
M2	46.2	0.013768	0.001928	46.21
M3	65.65	0.02238	0.002968	65.67
M4	19.35	0.01986	0.002822	19.37
			$\bar{x}$	49.850
			$\sigma_x$	22.564
<b>Efluente de Lodos activados</b>				
M1	0.3221	0.005313	0.0004717	0.3278
M2	1.479	0.003682	0.0001354	1.483
M3	0.3018	0.003104	0.000273	0.3052
M4	0.6249	0.002949	0.0003624	0.6282
			$\bar{x}$	0.686
			$\sigma_x$	0.551
<b>Efluente de Discos biológicos</b>				
M1	1.579	0.0004069	0.0001621	1.579
M2	1.088	0.000594	0.000107	1.089
M3	2.914	0.00076	0.0002458	2.915
M4	0.3529	0.0004602	0.0002004	0.3536
			$\bar{x}$	1.484
			$\sigma_x$	1.079

Muestra	Intervalos en número ( $\times 10^6$ Número / mL)			
	< 11 $\mu\text{m}$	11 - 20 $\mu\text{m}$	20 - 60 $\mu\text{m}$	Total
Efluente de Filtro rociador				
M1	2.355	0.001414	0.0002373	2.357
M2	2.217	0.001746	0.0003588	2.219
M3	6.998	0.002882	0.0008175	7.002
M4	1.254	0.003208	0.001038	1.258
			$\bar{x}$	3.209
			$\sigma_x$	2.575
Efluente filtrado				
M1	0.06277	0.00004545	0.000007246	0.062823
M2	0.024029	0.00005098	0.00001367	0.024093
M3	0.006591	0.00003805	0.000007389	0.006637
M4	0.009215	0.00004524	0.00001317	0.009273
			$\bar{x}$	0.026
			$\sigma_x$	0.026

**Tabla B8** Distribución de partículas en volumen por intervalos de tamaño de estudio para cada muestreo y por etapa de tratamiento.

Muestra	Intervalos en volumen ( $\times 10^6 \mu\text{m}^3$ / mL)			
	< 11 $\mu\text{m}$	11 - 20 $\mu\text{m}$	20 - 60 $\mu\text{m}$	Total
Influyente				
M2	186.2	52.08	31.31	269.6
M3	124.5	19.99	19.49	164
M4	128.6	32.67	28.5	243.7
M5	84.14	29.64	27.54	141.3
			$\bar{x}$	204.650
			$\sigma_x$	61.669
Efluente de Lodos activados				
M2	6.092	8.359	4.043	18.49
M3	8.597	4.641	1.246	14.48
M4	6.334	4.748	2.315	13.4
M5	4.513	4.671	3.525	12.71
			$\bar{x}$	14.770
			$\sigma_x$	2.585
Efluente de Discos biológicos				
M2	8.07	0.6615	2.519	11.25
M3	4.447	0.8317	1.225	6.504
M4	16.49	1.182	3.571	21.24
M5	3.443	0.7424	3.067	7.252
			$\bar{x}$	11.562
			$\sigma_x$	6.780

Muestra	Intervalos en volumen ( $\times 10^6 \mu\text{m}^3 / \text{mL}$ )			Total
	< 11 $\mu\text{m}$	11 - 20 $\mu\text{m}$	20 - 60 $\mu\text{m}$	
Efluente de Filtro rociador				
M2	16.99	2.093	2.519	21.6
M3	10.71	2.829	3.632	17.18
M4	41.95	4.875	9.994	56.82
M5	13.31	5.316	12.74	31.36
			$\bar{x}$	31.740
			$\sigma_x$	17.739
Efluente filtrado				
M2	0.28	0.074875	0.07819	0.433
M3	0.1158	0.087806	0.1697	0.3733
M4	0.079609	0.059542	0.05615	0.1953
M5	0.055692	0.065314	0.2537	0.3747
			$\bar{x}$	0.344
			$\sigma_x$	0.103



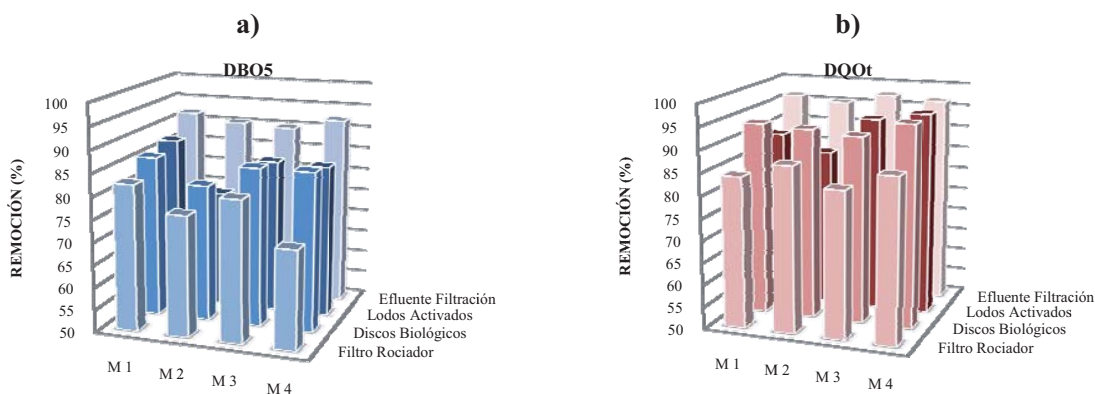
# APÉNDICE C

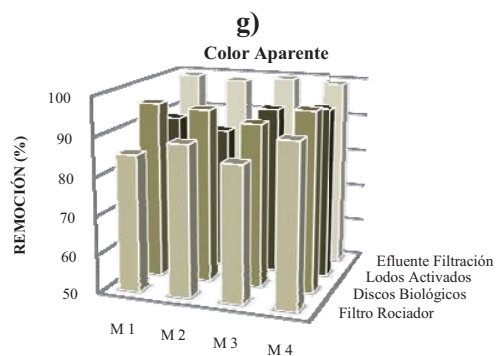
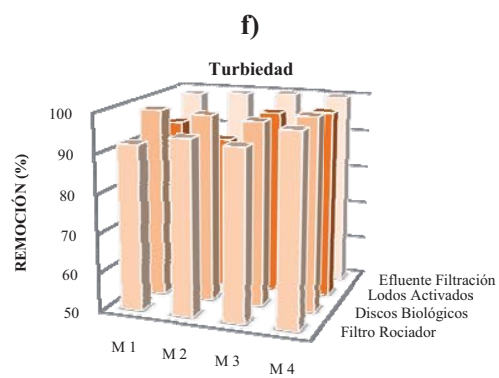
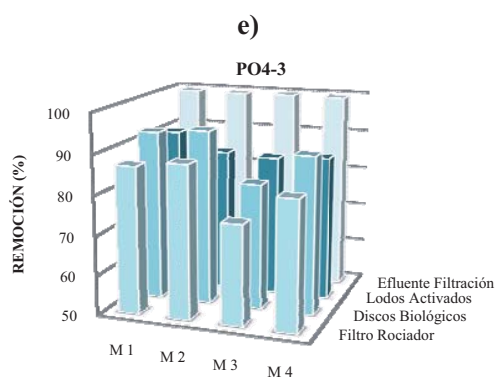
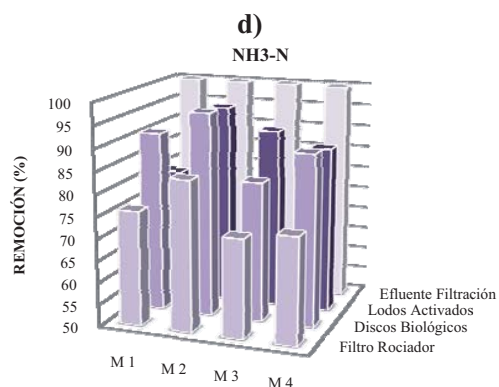
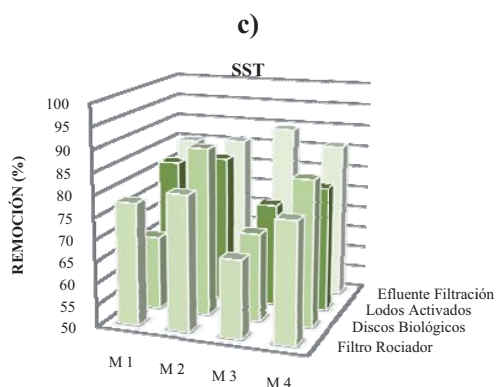
## REMOCIÓN EN LOS PROCESOS BIOLÓGICOS

La **Tabla C1** y la **Figura C1** muestran los porcentajes de remoción promedio de los parámetros tradicionales obtenidos de las muestras totales para los efluentes de la PTAR CU, en la cual la remoción de la  $DBO_5$  fue del 84% para los discos biológicos, del 78% para el filtro rociador y el efluente de la filtración reportó una remoción del 91% (**Figura C1 a**). La remoción de la  $DQO_t$  fue del 93% para los discos biológicos, del 85% para el filtro rociador y el efluente de la filtración presentó una remoción del 96% (**Figura C1 b**). En los SST la remoción fue del 79% en el efluente de los lodos activados, del 76% para el filtro rociador y del 86% para el efluente de la filtración (**Figura C1 c**). Para el  $NH_3-N$ , la remoción fue del 89% en el efluente de los discos biológicos y del 76% en el filtro rociador (**Figura C1 d**). En el efluente de la filtración la remoción del  $NH_3-N$ ,  $PO_4^{-3}$ , turbiedad y el color aparente fue del 99%. El porcentaje de remoción del  $PO_4^{-3}$  fue del 89% en el efluente de los discos biológicos y del 93% en el filtro rociador (**Figura C1 e**). La remoción de la turbiedad fue del 97% para los discos biológicos y del 94% para los lodos activados y el filtro rociador (**Figura C1 f**). Y para el color aparente la remoción fue del 94% para los discos biológicos y del 87% para el filtro rociador (**Figura C1 g**). La remoción de los parámetros básicos en los procesos biológicos quedó de la siguiente manera:

Discos Biológicos > Lodos Activados > Filtro Biológico.

**Figura C1** Remociones totales de los parámetros básicos en los efluentes de la PTAR CU





**Tabla C1** Remociones totales de los parámetros básicos en los efluentes de la PTAR CU

	Remoción (%)				$\bar{x}$	$\pm$	$\sigma_x$
	M 1	M 2	M 3	M 4			
<b>DBO<sub>5</sub></b>							
Efluente filtración	91.84	90.27	89.71	92.14	90.99	$\pm$	1.2
Efluente Lodos activados	87.29	76.03	84.26	83.96	82.89	$\pm$	4.8
Efluente Discos biológicos	85.78	80.51	85.35	85.40	84.26	$\pm$	2.5
Efluente Filtro rociador	82.44	76.84	81.36	71.92	78.14	$\pm$	4.8

	Remoción (%)				$\bar{x}$	$\pm$	$\sigma_x$
	M 1	M 2	M 3	M 4			
DQO <sub>t</sub>							
Efluente filtración	96.16	95.13	97.38	96.51	96.30	$\pm$	0.9
Efluente Lodos activados	88.93	85.43	93.76	95.57	90.92	$\pm$	4.6
Efluente Discos biológicos	93.49	92.83	92.01	95.48	93.45	$\pm$	1.5
Efluente Filtro rociador	84.04	87.22	82.95	86.87	85.27	$\pm$	2.1
SST							
Efluente filtración	85.00	85.71	89.29	85.88	86.47	$\pm$	1.9
Efluente Lodos activados	82.00	83.81	73.81	78.82	79.61	$\pm$	4.4
Efluente Discos biológicos	67.00	88.57	70.24	83.53	77.33	$\pm$	10.4
Efluente Filtro rociador	78.00	80.95	67.86	77.65	76.11	$\pm$	5.7
NH <sub>3</sub> -N							
Efluente filtración	99.98	99.95	99.97	99.74	99.91	$\pm$	0.1
Efluente Lodos activados	79.75	95.68	91.03	87.75	88.55	$\pm$	6.7
Efluente Discos biológicos	90.91	96.48	81.84	89.13	89.59	$\pm$	6.0
Efluente Filtro rociador	76.03	84.14	72.50	74.20	76.72	$\pm$	5.2
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>							
Efluente filtración	99.38	99.29	99.53	99.33	99.38	$\pm$	0.1
Efluente Lodos activados	90.42	85.99	85.41	86.28	87.02	$\pm$	2.3
Efluente Discos biológicos	92.71	93.82	81.53	89.54	89.40	$\pm$	5.6
Efluente Filtro rociador	86.88	88.36	75.18	82.45	83.22	$\pm$	5.9
Turbiedad							
Efluente filtración	98.50	99.20	99.72	99.74	99.29	$\pm$	0.6
Efluente Lodos activados	92.93	89.16	96.86	97.79	94.19	$\pm$	4.0
Efluente Discos biológicos	98.33	97.66	96.86	98.87	97.93	$\pm$	0.9
Efluente Filtro rociador	92.06	94.29	93.21	97.90	94.37	$\pm$	2.5
Color aparente							
Efluente filtración	99.13	98.31	99.44	99.21	99.02	$\pm$	0.5
Efluente Lodos activados	89.57	87.01	93.56	94.54	91.17	$\pm$	3.5
Efluente Discos biológicos	95.71	94.87	92.16	96.34	94.77	$\pm$	1.8
Efluente Filtro rociador	85.28	88.90	85.10	91.78	87.77	$\pm$	3.2

Los valores promedio obtenidos de las distribuciones de tamaño de partículas en número se presentan en la **Tabla C2**, los correspondientes a cada etapa de tratamiento son seguidos del nombre de ésta de manera horizontal y están reportados por intervalo (Número / mL). De forma similar a cada uno de estos valores les corresponde un porcentaje que representa como se distribuyen las partículas en esos intervalos. Como se puede observar, en el intervalo de partículas < 11µm se encuentra distribuido más del 99% de las partículas en número. El porcentaje de remoción de cada etapa se presenta en columnas para cada intervalo, estos valores se muestran de manera vertical y proporcionan información referente a que intervalo tuvo una mayor remoción de partículas en número. La mayor remoción en los efluentes es



reportada para el intervalo de partículas < 11µm con el 98% y la menor remoción para las partículas > 20µm con un 77%. Esto es principalmente debido a que en el intervalo de partículas < 11µm se tiene un contenido mayor en número. En los efluentes de los procesos biológicos la mayor remoción presentada para las muestras totales le corresponde a los lodos activados con el 98%. Para el efluente de la filtración, la remoción obtenida para cada uno de los intervalos y la total es hasta del 99.9%.

**Tabla C2** Contenido y porcentaje de remoción del número de partículas en el influente y los efluentes de la PTAR CU

Número de partículas x10<sup>6</sup> (Número / mL)

	Intervalo	Remoción	Intervalo	Remoción	Intervalo	Remoción	Total	Remoción
	<11 µm	(%)	11 - 20 µm	(%)	>20 µm	(%)		(%)
<b>Influente</b>	50.03	0.00	0.018504	0.00	0.002516	0.00	50.05	0.00
<b>Contenido (%)</b>	99.95		0.04		0.01		100.00	
<b>Lodos activados</b>	0.5809	98.84	0.003797	79.48	0.0003088	87.73	0.585	98.83
<b>Contenido (%)</b>	99.30		0.65		0.05		100.00	
<b>Discos biológicos</b>	1.498	97.01	0.0005929	96.80	0.0001841	92.68	1.498	97.01
<b>Contenido (%)</b>	99.95		0.04		0.01		100.00	
<b>Filtro rociador</b>	2.803	94.40	0.002125	88.52	0.0005768	77.07	2.805	94.40
<b>Contenido (%)</b>	99.90		0.08		0.02		100.00	
<b>Efluente Filtración</b>	0.023807	99.95	0.00004157	99.78	0.0000085	99.66	0.02385	99.95
<b>Contenido (%)</b>	99.79		0.17		0.04		100.00	

La **Tabla C3**, está estructurada de manera similar a la tabla anterior. En ella se muestra que el contenido en volumen para el intervalo de partículas < 11µm es de hasta el 74%, en el intervalo de 11 – 20 µm hubo un contenido de hasta 38% y para el intervalo > 20µm se encontró un contenido de hasta el 28% en las etapas de estudio. Las mayores remociones de los efluentes de los procesos biológicos fueron registradas para el intervalo < 11µm con un 95% y la menor remoción para el intervalo > 20µm con un 72%. En la comparación de las remociones por efluente se determinó que el efluente de los discos biológicos en las muestras totales alcanzó una remoción del 94%, superando a los otros efluentes. La remoción para el efluente de la filtración fue mayor al 97% en todos los intervalos de estudio y para la total se obtuvo el 99.8%.

**Tabla C3** Contenido y porcentaje de remoción del volumen de partículas en el influente y los efluentes de la PTAR CU

Volumen de partículas x10 <sup>6</sup> (µm <sup>3</sup> / mL)								
	Intervalo	Remoción	Intervalo	Remoción	Intervalo	Remoción	Total	Remoción
	<11 µm	(%)	11 - 20 µm	(%)	>20 µm	(%)		(%)
<b>Influente</b>	155.2	0.00	27.5	0.00	24.95	0.00	207.6	0.00
<b>Contenido (%)</b>	74.76		13.25		12.02		100.00	
<b>Lodos activados</b>	6.294	95.94	5.637	79.50	2.776	88.87	14.71	92.91
<b>Contenido (%)</b>	42.79		38.32		18.87		100.00	
<b>Discos biológicos</b>	8.337	94.63	0.9123	96.68	2.664	89.32	11.91	94.26
<b>Contenido (%)</b>	70.00		7.66		22.37		100.00	
<b>Filtro rociador</b>	18.21	88.27	3.587	86.96	6.863	72.49	28.66	86.19
<b>Contenido (%)</b>	63.54		12.52		23.95		100.00	
<b>Efluente Filtración</b>	0.1252	99.92	0.066795	99.76	0.078069	99.69	0.2701	99.87
<b>Contenido (%)</b>	46.35		24.73		28.90		100.00	

La remoción en unidades logarítmicas (U log) del número de partículas se observa en la **Tabla C4**, con los valores obtenidos de ésta manera se comprueba que la mayor remoción de partículas en número se presentó en el efluente de los lodos activados (1.9 U log) y el de menor remoción fue el filtro rociador (1.2 U log). La filtración tuvo una remoción de 3.3 U log en volumen de las partículas determinadas para el influente. La remoción desde los efluentes secundarios a la filtración fue de 1.8 U log, cabe mencionar que este valor se obtiene a base de realizar un promedio de los valores obtenidos para la remoción de los efluentes de los tres procesos biológicos estudiados. De tal manera, se observa que ésta etapa remueve en número de partículas una cantidad similar a la removida por el tratamiento con lodos activados y es mayor a la removida por los discos biológicos y el filtro rociador.

**Tabla C4** Remoción en U log del total de número de partículas en el influente y los efluentes de la PTAR CU

	Número / mL	U log	Remoción U log	Remoción del efluente secundario a la filtración
Influente	5.00E+07	7.699	0.000	
Discos Biológicos	1.50E+06	6.176	1.523	
Lodos Activados	5.85E+05	5.767	1.932	
Filtro Rociador	2.81E+06	6.448	1.251	
Promedio Efluentes Secundarios	1.63E+06	6.212	1.487	
Filtración	2.39E+04	4.378	3.321	1.834

La **Tabla C5** presenta las remociones en U log del volumen de partículas, donde la mayor remoción se obtuvo para el efluente de los discos biológicos (1.2 U log) y la menor para el

## APÉNDICE D

### DIÁMETROS PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DE PARTÍCULA

La partícula se define como una subunidad discreta de materia. En las aguas residuales éstas se encuentran en forma de moléculas simples o agregados complejos, tales como células microbianas, materia animal y vegetal, arcillas y arenas. La mayoría de las partículas no tienen una forma específica (son amorfas), ya que su formación depende de su origen y de los procesos a los que han sido expuestas (Levine *et al*, 1991, Adin, 1991).

En el caso de partículas esféricas perfectas, el tamaño es una representación numérica de su longitud física. Sin embargo, en las aguas residuales las partículas son irregulares por lo que no se pueden representar en una sola dimensión (longitud). Para caracterizar las partículas, se debe de tomar en cuenta otras propiedades tales como el diámetro, el área superficial o proyectada, la masa, el volumen, la velocidad de sedimentación o la respuesta de un campo eléctrico, óptico o acústico, las cuales emplean un diámetro esférico equivalente.

La **Tabla D1** presenta las expresiones matemáticas más utilizadas para cuantificar el tamaño de partícula, las cuales dependen de la técnica utilizada. La forma de cálculo está estrechamente relacionada con el método de medición ya que ésta varía de acuerdo a las necesidades de medición; por ejemplo, el diámetro promedio ayuda a determinar la efectividad de la desinfección, mientras que el diámetro superficial promedio se utiliza para calcular la adsorción; el diámetro de volumen y masa promedio permiten evaluar la eficiencia de los procesos en función de la masa sólida y el diámetro de Stokes permite calcular el tamaño de la partícula por medio de la velocidad de sedimentación.

**Tabla D1** Expresiones comunes para cuantificar el tamaño de partícula.

	Expresión
Diámetro promedio	$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n di N}{N}$
Diámetro conteo promedio	$\bar{d}_c = \frac{\sum_{i=1}^n ni di}{\sum_{i=1}^n ni}$
Diámetro de masa promedio	$d_{mm} = \frac{\sum_{i=1}^n midi}{\sum_{i=1}^n mi}$
Diámetro geométrico promedio	$d_g = \exp\left(\frac{\sum_{i=1}^n ni/ndi}{\sum_{i=1}^n ni}\right)$
Diámetro masa geométrica promedio	$d_{mg} = \exp\left(\frac{\sum_{i=1}^n mi/ndi}{\sum_{i=1}^n mi}\right)$

---



---

Diámetro de superficie promedio	$d_{sm} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (nidi)^2}{\sum_{i=1}^n ni} \right)^{\frac{1}{2}}$
Diámetro de volumen promedio	$d_{vm} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (nidi)^3}{\sum_{i=1}^n ni} \right)^{\frac{1}{3}}$
Diámetro del volumen de la superficie	$d_{sv} = \frac{d_v^3}{d_s^2}$
Diámetro de Stokes	$d_s = \sqrt{\left( \frac{18\mu v_s}{(\rho_p - \rho_f)g} \right)}$
Diámetro de Sauter	$\bar{d}_{saut} = \frac{\sum_{i=1}^n ni di^3}{\sum_{i=1}^n nidi^2}$
Diámetro estadístico Feret	$\bar{d}_{perim} = \frac{\sum_{i=1}^n ni pi}{\sum_{i=1}^n ni}$

---