

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL



TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMESTICAS PARA USO AGRICOLA,
MEDIANTE FILTRACION DIRECTA
DE FLUJO ASCENDENTE.

T E S I S

Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO SANITARIO

OSCAR MANUEL CACERES TORI
PROMOCION 94-I

LIMA - PERU
1995

I N D I C E

	<u>PAGINA.</u>
AGRADECIMIENTO.	3
INTRODUCCION.	5
OBJETIVOS	9
<u>CAPITULO I : GENERALIDADES.</u>	
1.1. Introducción al problema.	12
1.2. Actual disposición final de las aguas residuales en el Perú y posibles usos que se le puede dar.	17
1.3. Riesgos para la salud por causa de las aguas residuales domésticas.	21
1.4. Riesgos contra el medio ambiente por causa de las aguas residuales domésticas.	65
1.5. Problemas ocasionados en la agricultura por el uso de las aguas residuales domésticas sin previo tratamiento.	70
1.6. Normatividad existente en el Perú, para la adecuada disposición final de las aguas residuales domésticas.	81
<u>CAPITULO II: LAS AGUAS RESIDUALES.</u>	
2.1. Conceptos sobre la contaminación de las aguas; y las aguas residuales.	92
2.2. Parámetros que son necesarios conocer en las aguas residuales domésticas.	101

CAPITULO III: CONCEPTOS BASICOS
RELACIONADOS A LA
FILTRACION DIRECTA.

3.1. Introducción a la solución.	114
3.2. Teoría sobre coloides.	121
3.3. Teoría sobre coagulantes, mezcla rápida y floculación.	129
3.4. Teoría sobre filtración.	144
3.5. Teoría sobre filtración directa.	168

CAPITULO IV: PARTE EXPERIEMENTAL

4.1. Descripción de la planta de tratamiento de Carapongo.	188
4.2. Ubicación y descripción de la planta piloto de filtración directa de flujo ascendente.	191
4.3. Pruebas de laboratorio.	211
4.4. Valores de comparación de la eficiencia del tratamiento.	216
4.5. Evaluación y presentación de los resultados.	223
OBSERVACIONES.	246
CONCLUSIONES.	248
RECOMENDACIONES.	250
BIBLIOGRAFIA.	253

DEDICADO AL INGENIERO OSCAR
CACERES LOPEZ, MI PADRE, Y
A TODOS AQUELLOS QUE COMO
EL, HAN DEDICADO SU VIDA A
LA PRESERVACION DEL MEDIO
AMBIENTE.

Y dijo Dios el tercer día:

"Que se reúnan las aguas y cubran las tierras secas"; me pregunto si mi creador se imaginó alguna vez el mal trato que me darían los seres humanos; el grado de mi contaminación ha aumentado muchísimo con el paso del tiempo y mi disposición a las diferentes formas de vida cada vez es menor. A mi parecer es muy cierta esa frase que dice:

"Uno reconoce lo bueno que tenía, después que lo ha perdido".

Hombres de la Tierra, no permitan que esta frase se aplique en mí, porque tal vez sea lo último que puedan decir.

Están a tiempo, enmenden sus errores; porque el día que yo les falte, ese será su último día sobre éste aún hermoso planeta.

Atentamente.

El Agua.



A G R A D E C I M I E N T O

A G R A D E C I M I E N T O

Son muchas las personas que me ayudaron a realizar este trabajo de investigación, y a continuación les presento con estas líneas mi mayor agradecimiento y todo mi respeto:

Al Ingeniero Oscar Cáceres López, mi padre, quien me apoyó económicamente y estuvo siempre a mi lado. Sin su ayuda no hubiera podido realizar este trabajo.

A los Ingenieros Guillermo León y Fausto Roncal, asesores de este trabajo, y Jorge Olivares; que me ayudaron a concebir este proyecto.

A los Ingenieros Víctor Díaz, Nelly Nakamatsu y Víctor Yupanqui; que me permitieron la utilización de las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales de Carapongo y los laboratorios de la Oficina de Control de Calidad de la empresa de SEDAPAL, para realizar las pruebas necesarias.

A los Señores Santiago Moreno, Eduardo Grados, Melesio Vásquez y Ricardo Aybar; los cuales me ayudaron con la construcción de la planta piloto en Carapongo.

Al Señor Biólogo Martín Marrufo y a la Señorita Químico Judith Zapata, quienes me ayudaron con las pruebas de laboratorio.

Finalmente, a la Señora Lila Tori Cockburn De Cáceres, mi madre, a la Señorita Beatriz Cáceres Tori, mi hermana; quienes me apoyaron en todo momento con su cariño y afecto.

I N T R O D U C C I O N

I N T R O D U C I O N

No parece que hubiera pasado tanto tiempo, desde aquel día en que nació la idea de realizar este trabajo de investigación. Era mediados de mayo del año pasado (1994), ese día tenía clases de tratamiento de aguas residuales; el Ing. Guillermo León, profesor del curso, hizo el comentario que en la década de los 20's se intentó utilizar procesos químicos en el tratamiento de las aguas residuales, intención que quedó en el olvido con la aparición de los distintos tratamientos biológicos que siguen siendo utilizados en nuestros días.

La idea me impactó, apenas el ciclo anterior había llevado los cursos de tratamiento de aguas y tenía los conocimientos frescos; y surgió la inquietud en mí: Qué resultados obtendría si tratara las aguas residuales domésticas con procesos químicos, los cuales son utilizados en el tratamiento del agua potable ?.

Traté de informarme buscando bibliografía, sin embargo todas las experiencias eran orientadas exclusivamente al tratamiento del agua para consumo humano.

Comenté del tema con el Ing. Fausto Roncal, profesor de la parte práctica del curso de tratamiento de aguas, y me dijo que resultaría interesante llevar a cabo este trabajo de investigación y me ofreció su completa colaboración.

El panorama se abría, ahora sólo era cuestión de decidir que tipo de tratamiento iba a realizar. Conversando con el Ing. Jorge Olivares, profesor del

curso de abastecimiento de aguas, me sugirió que me inclinara por realizar esta investigación en la filtración directa, donde se dan los procesos de coagulación y filtración rápida; y no la filtración convencional, donde se dan los procesos de coagulación, floculación, decantación y filtración rápida. Esto porque la lógica exigía que para realizar este trabajo de investigación se necesitaría construir una pequeña planta piloto donde pudiera realizar mis pruebas; y obviamente un número menor de unidades representaría un costo económico menor. De esta sugerencia nació la decisión y con ella una serie de problemas por resolver.

Acudí a mi padre, él es Ingeniero Sanitario, y uno de los mejores, y no lo digo porque sea mi padre; le comenté de este proyecto y en un principio se mostró bastante escéptico. La experiencia le había enseñado que en nuestro país la investigación no da mas que satisfacciones personales; sin embargo yo estaba decidido a hacer este trabajo, él lo entendió así y me apoyó en todo momento. Fueron muchos los días en que nos levantábamos a las 4:00 de la mañana para discutir sobre todos los problemas que iban apareciendo durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

Cuando terminamos de construir la planta piloto, quedaba el problema de calibrarla para el rango de caudales que se habían considerado y sobre todo automatizarla para que funcione día y noche.

Por fin se le puso en funcionamiento y la mayor satisfacción fue constatar su adecuado funcionamiento. La gama de experiencias adquiridas, será algo que no olvidaré jamás y que estoy seguro, me serán de gran utilidad en mi futura carrera profesional.

Se ha concluido este trabajo, y la mayor satisfacción que tengo, es haber podido ser participe en la búsqueda de la solución del que es uno de los mayores problemas de la Ingeniería Sanitaria, es decir el adecuado tratamiento de las aguas residuales domésticas. Tal vez algún día vea construída una planta de filtración directa para tratar aguas residuales.

O B J E T I V O S

O B J E T I V O S

Este trabajo de investigación ha tenido los objetivos, los cuales son:

1. Verificar si la filtración directa de flujo ascendente permite la remoción de microorganismos patógenos en las aguas residuales domésticas con baja turbiedad.
2. Constatar si los principios de la filtración directa de flujo ascendente, aplicables al tratamiento de aguas, podían ser utilizados en el tratamiento de las aguas residuales con fines de irrigación.
3. Determinar los parámetros fundamentales de esta nueva forma de tratamiento de aguas residuales, para que puedan servir de base para futuros trabajos de investigación similares.

CAPITULO I
GENERALIDADES

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCION AL PROBLEMA

El crecimiento acelerado de las ciudades del Perú, especialmente Lima, ha significado en muchos casos, que grandes extensiones de terreno agrícola queden encerrados por áreas urbanizadas.

En otras, el proceso de expansión urbana, ha cortado el flujo de agua de riego procedente de los ríos cercanos, todo lo cual ha significado que los propietarios de dichos terrenos ante el peligro inminente de ser despojados de sus terrenos agrícolas, para dedicarlos a fines urbanísticos, recurran a los colectores cercanos de aguas residuales como la única fuente de abastecimiento de agua para riego de sus cultivos. A esto se debe agregar el hecho que el proceso urbanístico perjudica la recuperación del acuífero, al ser menor las áreas de riego por inundación, causando un problema grave en zonas donde el agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento de agua potable.

Por otro lado, los agricultores prefieren regar sus cultivos con aguas residuales, por tener estos una alta carga de materia orgánica que funciona como mejorador de suelo, produciendo cultivos de mayor tamaño y mejorando así sus ganancias.

Esta práctica que en sus inicios fue casi inadvertida, en la actualidad, por la magnitud de las áreas irrigadas, constituye un grave riesgo para la salud, ya que los tipos de vegetales que

se riegan, son las denominadas hortalizas, es decir los de consumo crudo, que por su corto período de desarrollo, constituye un negocio bastante rentable.

En estos momentos en el Perú, existen aproximadamente 6,000 Ha. de tierras agrícolas que son regadas con aguas residuales sin tratar, de las cuales 4,000 corresponden a la ciudad de Lima. De esta última cifra, aproximadamente 3,000 Ha. se dedican al cultivo intensivo de hortalizas de consumo crudo ""

En el año 1968, cuando se reglamentó la Ley General de Aguas, se incluyó un capítulo denominado "Del Uso de las Aguas Servidas con fines de Irrigación" a fin de controlar el uso indiscriminado de las aguas residuales en la agricultura.

Lamentablemente con el transcurrir de los años, la autoridad agrícola encargada de aplicar esta reglamentación fue haciéndose cada vez más complaciente, a tal punto que en el año 1991 se consideró que una de las formas de transmisión de la epidemia del cólera, era el consumo de verduras crudas.

Los esfuerzos que se han hecho para que los agricultores dedicados a esta actividad, procedan al tratamiento de las aguas residuales antes de su uso para el riego de sus cultivos, no han tenido mayor éxito, debido a que se ha querido utilizar como tratamiento, el uso de lagunas de estabilización, lo que para dichos agricultores resulta inconveniente porque nadie quiere ceder

parte de sus terrenos agrícolas para construir en ellos dichas lagunas, por la alta rentabilidad que les significa cada metro cuadrado del cultivo, por la magnitud de la superficie que se requiere para dichas lagunas.

Por otra parte, los otros tipos de tratamiento de aguas residuales, como el tratamiento biológico por ejemplo, resulta de muy difícil aplicación, por el hecho de que su operación y mantenimiento requiere de personal técnico especialmente preparado, del que se carece en la actualidad en número suficiente.

Todas estas consideraciones han creado la necesidad apremiante de estudiar métodos alternativos de tratamiento, que además de ocupar menos espacio que las lagunas de estabilización, sean de fácil operación y probablemente más económico, dado el alto costo actual de los terrenos agrícolas dedicados al cultivo de verduras en general.

Uno de estos métodos alternativos es el motivo de esta tesis, es decir, la filtración directa de flujo ascendente, que en el caso de tratamiento de aguas ha mostrado varias ventajas sobre los otros tipos de tratamiento, tales como el reducido espacio que requiere para su operación y, el hecho de ser un tratamiento netamente físico-químico, donde no hay desarrollo de microorganismos que realicen el proceso de descontaminación, y que requiere de un mayor cuidado y por ende un control más especializado.

Este método ha venido siendo utilizado en el tratamiento de aguas y existe bastante bibliografía que así lo señala.

Se buscaría entonces aplicar este método en el tratamiento de aguas residuales con fines de irrigación, buscando principalmente remover microorganismos patógenos y en especial quistes de protozoarios y huevos de helmintos, los cuales son causantes de un gran número de enfermedades denominadas de origen hídrico, que en nuestro país y en la mayoría de países en vía de desarrollo son una de las principales causas de mortalidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- (1) INAPMAS - Instituto Nacional de Protección del Medio Ambiente para la Salud. "Boletín Informativo". correspondiente al segundo semestre del año 1994. Lima, Perú. 1994.

1.2. ACTUAL DISPOSICION FINAL DE LAS AGUAS RESIDUALES EN EL PERU Y POSIBLES USOS QUE SE LES PUEDE DAR.

En América Latina, hay cerca de 500,000 hectáreas de cultivos regados con aguas residuales sin tratamiento alguno, y sólo en las costas peruanas hay 6,000 hectáreas⁽¹⁾.

Como se puede observar, el uso de las aguas residuales sin tratamiento para regar vegetales, es una práctica bastante común en nuestro país y en los países en vías de desarrollo.

En el Perú existen, principalmente, tres formas para la disposición final de las aguas residuales, las cuales son:

- a. Arrojarlas a algún curso de agua, sin tratamiento y suponer que al mezclarse con una mayor masa de agua, perderán su efecto contaminante. Este es el caso de la mayoría de ciudades de la sierra y selva, o como en el caso de las ciudades costeras que arrojan sus aguas residuales al mar.
- b. Utilizarlas para regar vegetales, que muchas veces serán consumidos crudos, como sucede en muchas zonas agrícolas cercanas a las ciudades, donde los agricultores toman las aguas residuales de los colectores principales para regar sus cultivos, sin que haya observación alguna por parte de las autoridades competentes.
- c. Realizar el tratamiento de las aguas residuales, mediante plantas de tratamiento que en su mayoría no significan gran aporte a la solución del problema, ya que la mayoría de estas plantas no

cuentan con supervisión, control y mantenimiento adecuados.

Respecto a los usos que se le puede dar a las aguas residuales, estos son múltiples. La Organización Mundial de la Salud, en el documento "DIRECTRICES PARA EL REUSO DE LAS AGUAS RESIDUALES" (2) promueve su reuso en la agricultura y en la acuicultura; sin embargo también puede ser utilizado en el riego de parques y jardines, en la industria y en casos extremos hasta como materia prima para agua potable.

Con este documento, los países desarrollados muestran su preocupación, al haber aprendido de mala forma que el agua no es un recurso inagotable y que su preservación es motivo de la preocupación tanto de gobernantes, como de los pueblos.

Por ello se ha desarrollado el criterio del "USO EFICIENTE DEL AGUA" donde el objetivo es darle al agua un uso racional y equilibrado, no desperdiciándola ni utilizándola de cualquier manera, garantizando que no va a representar un riesgo para la salud de las personas o que atente contra el medio ambiente, para lo cual se han estudiado una serie de agentes que en las aguas representan dichos riesgos. Este estudio incluye agentes biológicos y químicos, además se determinaron los valores guía que puede soportar el hombre, sin aparente riesgo a ser dañado por dichos agentes.

A partir de estos estudios, se desarrollaron una serie de métodos de tratamiento, los cuales garantizan que la calidad del agua se adecuará a

las necesidades de las personas y que a la vez sea favorable al medio ambiente, siendo competitivo desde un punto de vista económico.

Por último, la selección del tipo de tratamiento dependerá del uso que se le quiera dar a las aguas residuales; y si es necesario un tratamiento previo que garantice que no exista riesgo alguno para la salud de las personas y la preservación del medio ambiente. El tipo de tratamiento y su eficiencia serán obtenidos a partir de una caracterización de las aguas residuales a tratar, para conocer lo que hay que remover y en que cantidad de sus contaminantes, para poder obtener una calidad de efluente que se adapte a nuestras necesidades.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) INAPMAS - Instituto Nacional de Protección del Medio Ambiente para la Salud. "Boletín Informativo". correspondiente al segundo semestre del año 1994. Lima, Perú. 1994.

- (2) OMS - Organización Mundial de la Salud. "Directrices Sanitarias para el uso de aguas residuales en Agricultura y Acuicultura". 1982.

1.3. RIESGOS PARA LA SALUD PUBLICA POR CAUSA DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

El uso de las aguas residuales sin tratamiento previo en la agricultura, viene siendo practicado en América Latina en forma indiscriminada y creciente; lo cual representa un vehículo para la diseminación de una serie de enfermedades entéricas, llamadas también de origen hídrico o enfermedades infecciosas intestinales.

Para comprobar el gran peligro que representa el uso de las aguas residuales crudas en la agricultura, el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) realizó un estudio seleccionando cuatro áreas agrícolas de Lima: Santa Rosa, San Juan, San Agustín y Huaycán Bajo; cubriendo una extensión total de 1,358 hectáreas aproximadamente¹¹. El CEPIS encontró tasas elevadas de protozoarios, enterobacterias y huevos de helmintos en las aguas residuales crudas. Los protozoarios de mayor concentración fueron la *Entamoeba coli* y la *Giardia lamblia*. Entre las bacterias determinadas estuvo la *Salmonella*. Los huevos de helmintos predominantes fueron la *Toxocina sp* y la *Hymenolepis nana*. La mayoría de estos parásitos y enterobacterias son agentes de enfermedades gastrointestinales, otros generan infecciones externas en la piel, ojos y oídos.

El problema se agrava aún más; debido a la presencia de residuos químicos en las aguas de riego, producto de relaves mineros, plaguicidas, detergentes y descargas industriales con elevados contenidos de sustancias tóxicas.

En el cuadro 1.3.1 se muestra los valores promedio de coliformes fecales (indicador universal de contaminación por heces) y de salmonella (causante de la tifoidea, paratifoidea y salmonellosis), los cuales sobrepasan altamente los estándares de riesgo para la salud humana.

En relación a los niveles de contaminación de las aguas para riego, también los productos agrícolas presentan concentraciones altas de estos agentes contaminantes. Verduras como la espinaca, perejil, lechuga y en general hortalizas de tallo corto procedentes de las zonas estudiadas, contienen salmonellas, coliformes fecales, *Escherichia coli*, incluso residuos de insecticidas, fungicidas y otros productos químicos que se utilizan en el cultivo de las hortalizas.

Por otra parte el proceso de transporte y comercialización de los vegetales agravan aún más esta situación, ya que las condiciones de manipulación y venta de los alimentos no son las más recomendables para preservar la limpieza de los productos.

Estos hechos, más las condiciones generales de los centros de abasto, en donde los continuos problemas causados por las aguas residuales y las grandes acumulaciones de basura en estado de putrefacción; complementan y refuerzan la acción contaminante de las aguas de riego.

Se ha expresado en diversas ocasiones, que las enfermedades infecciosas e intoxicaciones, se deben principalmente al consumo de alimentos

preparados por vendedores ambulantes, por ingesta de agua contaminada, o por contagio. Lo que es poco conocido es que gran parte de los productos que adquirimos ya están contaminados por microorganismos o elementos químicos en los mismos lugares de producción, problema que es necesario resolver por ser el principal causante de las enfermedades (1).

El Perú y en general todos los países en vías de desarrollo se han caracterizado por presentar, a través de la historia, altos índices de mortalidad. El cuadro 1.3.2. indica las tasas de mortalidad registradas desde el año 1950 hasta la proyección a 1995, en algunos países de América del Sur.

Esta situación es aparentemente alentadora, ya que en todos los países se registra una baja progresiva en dichos índices. Pero el problema en realidad se acrecienta, ya que la población va en un aumento mayor como lo muestra el cuadro 1.3.3., registrándose comparativamente un mayor número de defunciones con el paso de los años como lo muestra el cuadro 1.3.4. Esto genera gran preocupación ya que las enfermedades de origen hídrico son una de las principales causas de dichas defunciones.

El aumento de la población ha sido una de las causas de la gran cantidad de defunciones producidas en América del Sur a causa de enfermedades de origen hídrico, ya que el crecimiento poblacional tiene un ritmo mayor que el aumento de cobertura de los servicios de saneamiento básico, tales como: agua potable y

desagües, recolección y disposición de residuos sólidos. El cuadro 1.3.5. muestra la cobertura de servicios de saneamiento básico en el Perú hasta el año 1991 y el cuadro 1.3.6. muestra la inversión pública total realizada en el área de salud durante los años 1982 y 1992.

Esta falta de servicios básicos de saneamiento facilitó que en el año de 1991 hubiera una epidemia de cólera, la cual reclamó muchas vidas; siendo considerado el Perú como la puerta de ingreso de dicha enfermedad en América Latina y el país con mayor número de casos y de defunciones.

Este hecho es de por sí revelador, ya que el cólera es una enfermedad de origen hídrico, es decir la transmisión del agente causante es principalmente por el consumo de aguas y alimentos contaminados con el *vibrio cholerae*.

El cuadro 1.3.7. muestra el número de casos registrados en América del Sur durante los años 1991, 92 y 93; y el cuadro 1.3.8. muestra el número de defunciones provocadas por la epidemia del cólera.

Si bien es cierto, tanto el número de casos y de defunciones ha ido disminuyendo con el paso de los años, esta enfermedad no ha sido controlada aún en el Perú, ya que sigue mostrando gran cantidad de casos, lo que lleva a la conclusión que el cólera va a convertirse en una enfermedad endémica, así como la fiebre tifoidea y la tuberculosis, enfermedades que son tal vez las más representativas en cuanto a enfermedades diarreicas agudas (EDA) e infecciones

respiratorias agudas (IRA) respectivamente.

No sólo el cólera representa un peligro para la salud pública; ya que existe una serie de enfermedades infecciosas intestinales que tienen carácter éndemico, tales como: la fiebre tifoidea, la paratifoidea, la salmonellosis, disentería, parasitosis, hepatitis, etc. El cuadro 1.3.9. muestra los valores de las defunciones causadas por enfermedades infecciosas intestinales desde el año 1965 hasta 1990, en algunos países de América del Sur.

Estas enfermedades tienen mayor impacto en los niños, especialmente en los menores de 5 años, esto debido a que a esa edad no han desarrollado las defensas necesarias que los proteja en cierta forma, de dichas enfermedades. El cuadro 1.3.10. muestra los valores de las defunciones causadas por enfermedades infecciosas intestinales de niños menores de 5 años desde el año 1965 hasta 1990, en algunos países de América del Sur.

Las enfermedades infecciosas intestinales están consideradas dentro de las enfermedades diarréicas agudas. En el Perú dichos enfermedades se encuentran en tercer lugar, entre las diez principales causas de mortalidad infantil registradas y cuarta entre las causas de mortalidad general registradas, como lo muestran los cuadros 1.3.11. y 1.3.12. respectivamente.

El cuadro 1.3.13. indica en forma específica las enfermedades transmisibles que han causado mayor número de defunciones en el Perú entre los años 1981 - 1992; entre las cuales destacan varias

de origen hídrico.

Las cifras mostradas en dichos cuadros son alarmantes, ya que con la tendencia del crecimiento poblacional, y con la consiguiente disminución de la cobertura de recursos para garantizar los servicios básicos de saneamiento, como son agua y desague; se corre el riesgo de tener mayor cantidad de casos por enfermedades transmisibles de origen hídrico. Si además, se considera el hecho de que los servicios hospitalarios no son suficientes y están mal distribuidos en nuestro país, los casos de muertes pueden ser mayores.

Es necesario entonces, entender la importancia de contar con adecuados servicios de agua y desagües, para poder prevenir las enfermedades de origen hídrico. Para ello se requiere conocer las características de la enfermedad, la forma como ataca al hombre, y como un buen servicio de agua, desague y recolección de residuos sólidos puede interrumpir el ciclo de la enfermedades.

1.3.1. Síntomas de las Enfermedades de Origen Hídrico

Las enfermedades de transmisión hídrica se localizan en el aparato digestivo y órganos afines, por lo tanto los síntomas comunes son:

- a. **Dolor:** Generalmente localizados en la zona epigástrica

- b. **Decaimiento:** Es el síntoma clásico y constante tan molesto en las formas crónicas, a veces la manifestación de la enfermedad produce justamente un síntoma contrario: ansiedad o alteraciones nerviosas.
- c. **Diarrea:** Por la congestión de la mucosa intestinal.
- d. **Deshidratación:** Por la diarrea o la fiebre y la incapacidad del intestino de absorber suficiente cantidad de agua.
- e. **Fiebre:** Es el síntoma menos común, pero indicador de gravedad en la infección.

Las complicaciones más graves y comunes son las lesiones intestinales. Si pudiéramos observar con una lente de aumento un trozo pequeño de intestino, veríamos que la mucosa se halla ulcerada y muy inflamada. Estas lesiones son producidas por los gérmenes que han sido ingeridos con el agua o alimentos crudos contaminados como las hortalizas y que allí se localizan. Estas ulceraciones pueden profundizarse hasta perforar el intestino, complicación fatal en la mayoría de los casos.

Estas enfermedades tienen como agente etiológico, microorganismos patógenos que pueden ser bacterias, virus, protozoarios o helmintos. Por lo general todas estas enfermedades tienen el mismo ciclo, es decir: La persona consume agua o alimentos contaminados, los microorganismos se instalan

y reproducen en el tracto intestinal, parte de ellos son defecados en las heces. La enfermedad se puede transmitir a los alimentos por no asearse las manos después de defecar, o porque dichas heces están expuestas a la presencia de insectos (moscas) los cuales pueden contaminar los alimentos por contacto, también dichas heces pueden ser dispuestas sin tratamiento alguno a una fuente de agua y reiniciar el ciclo de la enfermedad.

1.3.2. Principales Enfermedades de Origen Hídrico

A continuación se describe las principales enfermedades de origen hídrico:

1. **Disenterías.**

La Disentería Amebiana (Amebiasis). Producida por la entamoeba histolítica, protozoario llamado comunmente ameba o amiba. Los microorganismos se localizan en el aparato digestivo del hombre, especialmente en el colon descendente del intestino grueso, donde produce ulceraciones. En estas ulceraciones la amebas se reproducen y son eliminadas por las heces en forma de quistes (forma latente o vegetativa), los que producen la infección en el hombre sano al ser ingeridos por medio de los alimentos o el agua de bebida.

Las ulceraciones pueden profundizarse hasta perforar el intestino que es una de las más graves complicaciones, generalmente

fatales. En todo caso, las amebas enquistadas son las que propagan la enfermedad. Al llegar al aparato digestivo los ácidos que intervienen en la digestión disuelven la cápsula del quiste y dejan en libertad a una ameba cuadrinucleada que a su vez se subdivide en 8 pequeñas amebas, las que se dirigen al intestino grueso, donde después de atravesar la barrera epitelial, causan las ulceraciones ya mencionadas. En los intestinos proliferan y pueden tomar la vía sanguínea produciendo localizaciones extra intestinales, siendo las más frecuentes los abscesos amebianos hepáticos, pulmonares y cerebrales.

Una parte se elimina con las heces en las cuales pueden encontrarse formas enquistadas y sin enquistar.

El agente infeccioso lo constituye el quiste, pues éste tiene grandes posibilidades de subsistencia en el agua o en cualquier medio húmedo, incluso puede subsistir de 3 a 5 días en medios secos amparados de la luz solar. La propagación endémica y epidémica se hace por el agua, por manos sucias, y por verduras o alimentos contaminados, especialmente los que se ingieren crudos, y por las moscas.

En el gráfico 1.3.1. se muestran los principales quistes de protozoarios que se encuentran en las aguas contaminadas.

La Disentería Bacteriana, también llamada disentería bacilar, lo produce una bacteria llamada *Shigella Dysenteriae*, por eso también se le da el nombre de Shigelosis a la enfermedad.

El germen penetra en el organismos por la vía digestiva, albergándose en el intestino grueso donde produce lesiones de variable intensidad, similares a las de la disentería amebiana, en la mayoría de los casos en el colon sigmoideo. De ahí es eliminada por las heces en grandes cantidades. La contaminación del agua es sumamente importante en la transmisión de esta enfermedad, pero lo es más aún por otras vías, como: contacto directo o transmisión fecal-oral y alimentos contaminados. Por esta razón la cantidad y disponibilidad de agua potable en la vivienda, permitiría una adecuada higiene personal y doméstica y significaría la eliminación de una importante vía de transmisión. Las *Shigellas* tienen menos posibilidades de vida en el agua que las amebas, ya que se ha comprobado que el mejoramiento de la calidad del agua no ha sido suficiente para que, en igualdad de condiciones socio-económicas y culturales, esta enfermedad diarreica haya disminuído tanto como la fiebre tifoidea, por ejemplo.

Estudios efectuados indican que la prevalencia de infección por *Shigellas* fue distinta y mayor entre los que habitan viviendas desprovistas de conexiones domiciliarias. En los que disponían de agua

en el hogar, sensiblemente la prevalencia fue menor.

2. La fiebre Tifoidea.

Es una enfermedad infecto contagiosa provocada por el Bacilo de Heberth o más conocida como Salmonella, con localizaciones que asientan preferentemente en el sistema linfático del intestino, aunque la infección alcanza también otros órganos. La fiebre tifoidea se observa en todas las latitudes y en todos los climas, sin embargo es más frecuente en las regiones cálidas. La influencia de las estaciones se manifiesta en los países donde la infección tífica es endémica. Los casos recrudecen en verano y principios de otoño, sobre todo si las temperaturas son acentuadas. La vía de entrada usual del germen la constituye el aparato digestivo y muy específicamente los linfáticos del intestino incluyendo los tejidos linfóides de la faringe; de allí los gérmenes invaden nuevamente el aparato digestivo, donde se alojan.

La eliminación de toxinas del germen produce primero una irritación de la mucosa intestinal, luego aparecen las escaras, semejantes a pequeñas úlceras que pueden llegar a perforar el intestino. Las complicaciones más graves son: miocarditis y hemorragia intestinal. En 1896 se aislaron bacterias que diferían del bacilo tifoso en algunas de sus reacciones fermentativas. Estos gérmenes fueron clasificados con los

nombres de paratífico A, paratífico B, y paratífico C, estableciéndose las diferencias entre las tres fiebres paratifoideas y la fiebre tifoidea, que sin embargo difieren poco en sus sintomatologías y contagiosidad. Estas enfermedades se caracterizan respecto a las demás de origen hídrico, por la aparición de temperatura en los enfermos y de roseolas tíficas (manchas rosadas en el abdomen). Los gérmenes son eliminados por las heces y por la orina. Las manos sucias, por ejemplo pueden infectar directamente al individuo sano o por medio de los alimentos, ropas, etc. Las moscas pueden llevar el germen desde las heces o la orina hacia los alimentos o directamente hacia el individuo, pero la vía más efectiva de contaminación, dada las grandes posibilidades de vida del germen en el agua o en un medio húmedo, es sin duda alguna la contaminación del agua de consumo.

3. Cólera.

Esta enfermedad es causada por la bacteria *Vibrio Cholerae*, que se contagia por la boca al ingerir líquidos o alimentos contaminados en un período que va de horas a 3 días. La bacteria se fija en el intestino delgado del portador, sin ingresar al torrente sanguíneo, por lo que esta enfermedad no produce fiebre. En el intestino se reproduce rápidamente en grandes cantidades produciendo una toxina muy poderosa que irrita fuertemente el intestino, lo que causa diarreas incontrolables de color blanquecino (puede alcanzar hasta un litro

por hora), vómitos y rápida deshidratación con pérdida de sales minerales vitales para el organismo. La persona enferma puede eliminar hasta 1,000 millones de vibrios por gramo de heces, lo que significa que en estado grave, puede excretar algo más de 10,000 millones de estas bacterias y en estado convaleciente entre 100 y 100,000 vibrios por gramo de heces. Este microorganismo puede sobrevivir entre 2 y 14 días en el agua potable entre 20 y 30° C y hasta un mes a 4° C. En el agua de mar sobrevive entre 6 y 60 días a temperatura de 20 a 30° C, encontrándosele también en el fondo del mar donde se aloja en el organismo de los crustáceos. Parece que los peces se contaminan al ingerirlos a estos y otros mariscos infectados. Según algunos autores su dosis infectiva es de 1,000 vibrios por persona aproximadamente.

4. Parasitosis.

En la transmisión de las parasitosis, necesiten o no huésped intermediario, el agua juega un papel fundamental.

El *Ascaris Lumbricoides* es uno de los parásitos que mayor dimensión adquiere en el hombre. El macho mide 15 cm. de largo y la hembra es más larga y más gruesa. Los huevos, al ser eliminados por las heces, no son embrionados, y por lo tanto no pueden infestar. En el medio externo se forma el embrión dentro del huevo y luego la larva, recién entonces el huevo es infestante, de

manera que debe permanecer cierto tiempo en un medio húmedo o semihúmedo donde cumple el ciclo embrionario, que bien puede ser el que tarda en infiltrarse desde una letrina por ejemplo, hacia las aguas de consumo, o el de permanencia entre las verduras u hortalizas que han de consumirse crudas o mal lavadas. Como puede apreciarse, los hábitos higiénicos y el agua de consumo juegan un importante papel en la transmisión de esta parasitosis. Ingeridos los huevos por el hombre, las larvas quedan en libertad en su aparato digestivo, pero para convertirse en parásitos adultos deben realizar un recorrido que va desde la mucosa intestinal, el hígado, los pulmones, bronquios, tráquea, laringe, esófago, estómago hasta el intestino delgado donde completan su desarrollo transformándose en adultos machos y hembras. El tránsito por estos órganos provocan una serie de fenómenos congestivos típicos de las "ascariasis".

La Trichuris Trichura. Es un parásito que se le localiza en el ciego y luego en el resto del colon y apéndice. En el apéndice puede causar apendicitis verminosas. Se compone de una porción anterior delgada, filiforme que no se ve a simple vista, y una porción posterior mucho más gruesa, que se halla enrollada en espiral en la hembra. El macho mide de 3 a 4.5 cm. de largo, la hembra alcanza 5 cm. Es uno de los parásitos más difundidos en nuestro país por su fácil contagio. Tiene su principal fuente de transmisión en las aguas subterráneas contaminadas por letrinas. Evoluciona sin

huésped intermediario. Los huevos al ser eliminados por las heces no son infestantes porque no contienen embrión, éste se forma en el medio externo y recién entonces los huevos son infestantes, las larvas quedan en libertad en el intestino del hombre y se transforman en adultos. La manifestación más importante de la trichuriasis es la anemia, y la fuente de transmisión común la constituyen las aguas contaminadas, los alimentos y la falta de higiene personal y doméstica.

La Heymenolepis Nana. Es un parásito pequeño de 8 a 19 mm. de largo, pudiendo llegar hasta 25 mm. Se localiza en las últimas porciones del intestino delgado. Es de aspecto filiforme, la cabeza está provista de ganchos y ventosas que le sirven para adherirse a la pared intestinal; el cuerpo está constituido por una larga cadena de anillos, que contienen los huevos y que van desprendiéndose uno a uno a medida que maduran. Los huevos aparecen en la materia fecal por desintegración de los anillos. La evolución se produce en forma directa, es decir, sin intermediarios, de manera que los huevos del parásito eliminados con las heces del hombre llegan al medio externo donde permanecen hasta que son ingeridos por otro huésped o por el mismo huésped. El agua de consumo contaminada, juega un importante papel en la transmisión de la enfermedad, al igual que los alimentos y los hábitos higiénicos.

El hombre parasitado puede tener en sus uñas y manos, partículas de materia fecal cargadas de huevos y convertirse en fuente de infestación por contacto directo, e incluso puede reinfestarse a sí mismo. El huevo penetra en el aparato digestivo donde el embrión se libera y se fija generalmente en la última porción del intestino delgado. Allí penetra en una vellosidad intestinal y se convierte en larva, la que, llegado a su completo desarrollo, rompe la vellosidad y se fija en la mucosa intestinal por medio de sus ganchos y ventosas, e inicia un nuevo ciclo infestante.

Fasciola Hepática. Es un parásito que se localiza en las vías biliares intrahepáticas y vesícula biliar del ganado vacuno, ovino, etc. y en el hombre. Los huevos pasan llevados por la bilis al intestino, para llegar con las heces al medio externo. En este momento los huevos aún no están embrionados, formándose el embrión después que los huevos han llegado al agua. Una vez completado su desarrollo, el embrión cubierto de cilias, denominados miracidios pasa al agua donde nada hasta encontrar el huésped intermediario: un molusco, el caracol del género *Limnaea* *Viatrix*, dentro del cual cumple un ciclo bastante complejo donde pasa por diversos estados: esporoquiste, redias, redias hijas y cercarias. Las cercarias abandonan el molusco pasando al agua donde nadan hasta enquistarse sobre plantas acuáticas o sobre la superficie del agua estancada, de donde el hombre las ingiere

bebiendo agua o, utilizando el berro como alimento crudo en ensaladas. Esta es una de las más frecuentes vías de contagio. Las cercarias enquistadas al ser ingeridas por el hombre, o el huésped definitivo, deja en libertad al distoma joven, por disolución de su membrana quística. Este, para llegar a las vías biliares intrahepáticas atraviesa la pared intestinal del huésped y se dirige a los conductos biliares donde completa su desarrollo y prolifera, cumpliéndose nuevamente el ciclo de infestación.

La Hidatidosis. El echinococcus granulosus es un parásito pequeño que se desarrolla en el intestino del perro, mide 3 a 6 mm. de largo. Está formado por una cabeza (o Scolex) con 4 ventosas y corona de ganchos, un cuello corto y 3 ó 4 anillos de los cuales el último, cuando está bien maduro, es eliminado con las heces del perro yendo a infestar los huéspedes intermediarios más comunes, representados normalmente por el ganado vacuno, ovino, porcino y el hombre. La infestación del hombre se produce al ingerir éste los huevos de echinococcus granulosus contenidos en el anillo de la tenia que elimina el perro con su materia fecal. Como la materia fecal es diseminada sobre la tierra, con las lluvias se producen filtraciones que llevan los huevos a los pozos poco profundos donde se extrae el agua con balde, o incluso con bombas como se usan en nuestro medio rural. Desde el punto de vista sanitario ésta es la vía que más interesa a la tarea educativa, además de los

factores que posibilitan la transmisión por la falta de hábitos higiénicos adecuados.

Otra fuente de infestación son las verduras y legumbres de las huertas cuando están en contacto con perros, que con sus heces las contaminan. Son peligrosas cuando se ingiere crudas y deficientemente lavadas. El contacto íntimo con el perro propaga también el parásito, ya que el perro tiene la costumbre de higienizarse la región anal con la lengua sobre la cual quedan adheridos, lo mismo que sobre su boca, huevos del parásito que luego deposita sobre la mano o sobre los alimentos y utensilios que el hombre emplea para preparar las comidas.

Cualquiera que sea la forma de infestación, el embrión contenido en los huevos de la tenia se transforma en los órganos de los huéspedes intermediarios en larva que se llama hidátide o quiste hidatídico. Esta larva contiene numerosas vesículas dentro de las cuales se forman millares de Scolex o cabezas, cada una de las cuales, si son ingeridas por el perro se transforman en su intestino en una tenia adulta. En el hombre las localizaciones más comunes son: hígado, pulmón y cerebro.

En el gráfico 1.3.2. se muestra los principales huevos de helmintos que se encuentran en las aguas contaminadas.

5. Virosis.

La Hepatitis Infecciosa y Poliomiелitis.
Aún no está del todo probado que la poliomiелitis se transmita por contaminación de las aguas de consumo, sin embargo dadas las grandes posibilidades de vida del virus en medios húmedos hipotéticamente es obvia su transmisión por esa vía. Se ha comprobado por ejemplo epidemias de estas enfermedades en poblaciones marginales a todo lo largo de un río, o en poblaciones donde se proveían de agua en la misma napa subterránea. Las vías de contagio que se han detectado son comunes para ambas: la materia fecal, o las gotitas de Pflugger y en general las secreciones nasofaríngeas son el material infectante. De ahí en adelante son innumerables las formas de contagio: las manos sucias, que pueden contaminar alimentos, ropas, etc., y la otra vía: la contaminación de las aguas subterráneas, que en la hepatitis infecciosa y en la poliomiелitis, constituyen la más peligrosa vía de contagio.

La Hepatitis infecciosa es una enfermedad epidémica donde el virus se localiza en el hígado. La piel toma un color amarillento; en los ojos se destacan de un modo especial los pigmentos amarillos que se depositan sobre el blanco de la esclerótica; piel y mucosa adquiriendo un tinte amarillo (ictericia). El contacto directo no es peligroso, si lo es la manipulación de sábanas o ropas manchadas de heces, o el uso del mismo baño. Se ha dicho que el virus es

eliminado por las heces y se ha hablado de su resistencia en ambiente exterior a 10 ó 20 °C, por lo tanto es recomendable una escrupulosa limpieza.

Poliomielitis (Parálisis infantil). Casi siempre el contagio se produce por la penetración del virus en la cavidad orofaríngea, donde en ciertos casos el epitelio de la mucosa se convierte en medio de cultivo, mientras que esto sí sucede a nivel de las células epiteliales del intestino delgado, en las que el virus que ha llegado en una segunda fase, se multiplica rápidamente. Cuando estas últimas han sido también "saturadas", el virus se vierte en la sangre y rápidamente llegan a los órganos del sistema nervioso (cerebro, cerebelo, bulbo, protuberancia y médula espinal) donde se establecen destruyendo total o parcialmente las células nerviosas; de ahí que el ciclo normal que cumplen las sensaciones (sobre todo motoras) de los individuos se halla interrumpida, ya que el centro nervioso lesionado no envía el estímulo pertinente a los músculos.

1.3.3. Interrupción del ciclo de la enfermedad de transmisión hídrica

El agua, para que intervenga en la transmisión de una enfermedad, debe recibir una carga de contaminante importante y reciente.

En otros casos las enfermedades se producen por contacto directo o indirecto con un enfermo o portador, o por intermedio de alimentos contaminados.

Debe hacerse notar que los alimentos en la mayoría de los casos, pueden haberse contaminado por agua, por basuras, moscas, heces, etc. pero de todos modos siempre se considera que el agua, por sus propiedades disolventes, infiltrantes y de uso común, es la principal responsable de la vía de transmisión alimentos-hombre.

Las frutas crudas y los vegetales son vehículos importantes en algunas regiones; la leche, los derivados de ésta y los moluscos en otras.

La contaminación también puede producirse por medio de las manos de un portador, o por sus ropas. Las moscas también son vectores mecánicos al posarse sobre las heces y sobre los alimentos.

El regadío de vegetales y frutas con aguas contaminadas es un riesgo latente también; ya que la mala limpieza de estos, antes de ser ingeridos, puede producir la enfermedad.

La disposición de aguas residuales en cursos de agua sin tratamiento alguno, también representa un riesgo de producir enfermedades, si es que ese curso de agua tiene un uso de consumo aguas abajo, o se le

utiliza en el riego de hortalizas de consumo crudo.

La interrupción de todas estas vías podría eliminar total o parcialmente la transmisión de las enfermedades, con lo cual se evitaría o disminuiría considerablemente su propagación.

La potabilización del agua se considera en general, el método más eficaz para la interrupción del ciclo de estas enfermedades, ya que con ello se produciría la disminución de riesgos por vía de la ingestión directa. El agua tratada, libre de contaminación podría contribuir también a interrumpir estas vías con una adecuada limpieza de los alimentos, de los utensilios, de las manos, de la ropa, y en general del hogar, siempre que la vivienda reúna los requisitos mínimos en instalaciones sanitarias. El riesgo disminuiría si se entregara a la población alimentos que hayan sido regados con aguas libres de contaminación microbiológica.

Sin embargo es dable considerar que en la transmisión de las enfermedades de origen hídrico, ninguna de estas soluciones puede ser efectiva por sí sola si no se encara una acción conjunta en la lucha.

Por ejemplo, de nada puede servir el agua potable, si la higiene de los alimentos, los hábitos higiénicos, la recolección y disposición de las basuras, dentro y fuera del hogar, son deficientes y siguen

constituyendo vía libre para la transmisión de las enfermedades.

Lo mismo puede ocurrir en la situación inversa, cuando la higiene del hogar y de los habitantes es óptima y sin embargo el agua de consumo ó el agua con que se riega los alimentos está contaminada.

El gráfico 1.3.3. detalla las vías potenciales de transmisión de bacterias y virus. El gráfico 1.3.4. detalla el ciclo lógico de la transmisión de una enfermedad de origen hídrico, y el gráfico 1.3.5. detalla el ciclo interrumpido de la enfermedad del mismo origen.

Se puede concluir, que las enfermedades de origen hídrico, son una de las principales causas de muerte en nuestro país; muertes que en la práctica no deberían ocurrir, o al menos no en las proporciones señaladas, ya que la mejor forma de prevenirlas es teniendo una cobertura adecuada de los servicios de saneamiento básico, una buena disposición final de las aguas residuales y fomentando las actitudes que debe tomar la población por medio de educación sanitaria. Pero estas medidas han sido olvidadas por nuestros gobiernos, y de seguir así no debería sorprendernos si al Perú llegara otra epidemia como la del cólera.

C U A D R O S

M E D I A G E O M E T R I C A		
Zona de Muestreo	Coliformes Fecales	Salmonella
San Agustín	$8.51 * 10^7 / 100 \text{ ml.}$	$2.38 * 10^3 / 100 \text{ ml.}$
Santa Rosa	$5.46 * 10^7 / 100 \text{ ml.}$	$1.34 * 10^3 / 100 \text{ ml.}$
San Juan (crudo)	$7.22 * 10^7 / 100 \text{ ml.}$	$2.62 * 10^3 / 100 \text{ ml.}$
San Juan (Lag. Primaria)	$5.22 * 10^5 / 100 \text{ ml.}$	$3.76 * 10 / 100 \text{ ml.}$
San Juan (Lag. Secundaria)	$2.54 * 10^6 / 100 \text{ ml.}$	$2.99 * 10 / 100 \text{ ml.}$
San Juan (Lag. Tercera)	$1.70 * 10^5 / 100 \text{ ml.}$	$6.84 * 10 / 100 \text{ ml.}$
Huaycán Bajo	$2.06 * 10^2 / 100 \text{ ml.}$	

Cuadro. 1.3.1. VALORES PROMEDIO DE LAS CONCENTRACIONES DE INDICADORES DE CONTAMINACION MICROBIOLÓGICA EN CUATRO (4) ZONAS AGRÍCOLAS DE LA GRAN LIMA, MOTIVO DE ESTUDIO POR EL CEPIS. ⁽¹⁾

SUB-REGION Y PAIS	1950 - 55	60 - 65	70 - 75	80 - 85	90 - 95
América	12.4	10.8	9.4	8.2	7.6
Bolivia	24.1	21.5	19.0	12.2	9.4
Colombia	16.7	11.5	8.6	6.4	6.0
Ecuador	18.9	14.3	11.2	8.0	6.9
Perú	21.6	17.6	12.8	10.5	7.6
Venezuela	12.3	9.1	6.5	5.5	5.3
Argentina	9.1	8.8	9.0	8.7	8.6
Chile	14.4	12.1	8.9	6.3	6.4
Paraguay	9.3	8.1	7.2	6.7	6.4
Uruguay	10.5	9.6	10.1	10.0	10.3
Brazil	15.1	12.3	9.7	8.4	7.4

Cuadro. 1.3.2. TASA BRUTA DE MOTALIDAD EN AMERICA DEL SUR, ENTRE LOS AÑOS 1950 Y 1995. (TANTO POR MIL). (2)

SUB-REGION Y PAIS	1 9 5 0	1 9 9 5	2 0 2 5
América	331'227	774'220	1,061'999
Bolivia	2'766	8'074	14'096
Colombia	11'946	35'101	49'359
Ecuador	3'310	11'822	18'643
Perú	7'632	23'854	37'350
Venezuela	5'009	21'483	32'665
Argentina	17'150	34'264	45'505
Chile	6'082	14'237	19'774
Paraguay	1'351	4'893	9'182
Uruguay	2'239	3'186	3'691
Brazil	53'444	161'382	219'674

Cuadro. 1.3.3. POBLACION REGISTRADA EN LOS AÑOS 1950 Y 1995, ASI COMO LA POBLACION PROYECTADA PARA EL AÑO 2025 EN AMERICA DEL SUR. EN MILES DE PERSONAS. (2)

SUB-REGION Y PAIS	1 9 5 0	1 9 9 5
América	41'072	58'840
Bolivia	667	759
Colombia	1'995	2'106
Ecuador	625	815
Perú	1'648	1'813
Venezuela	616	1'139
Argentina	1'561	2'947
Chile	876	911
Paraguay	126	313
Uruguay	235	328
Brazil	8'070	11'942

Cuadro. 1.3.4. POBLACION FALECIDADA EN LOS AÑOS 1950 Y 1995 EN AMERICA DEL SUR. EN MILES DE PERSONAS. (2)

SANEAMIENTO BASICO	PROMEDIO NACIONAL (%)	PROMEDIO RURAL (%)	PP.JJ LIMA METROPOLITANA (%)
ABASTECIMIENTO DE AGUA * por tubería pública. * por río, acequia o manantial.	52.4 35.0	12.0 83.0	67.0 18.0
SERVICIOS HIGIENICOS * con inodoro. * sin servicios higiénicos.	35.0 45.2	2.0 89.0	18.0 14.0
ELIMINACION DE BASURA * por camión recolector. * la arrojan al río o campo. * la queman, entierran o usan como abono.	44.0 42.0 13.0	1.4 78.0 20.4	58.0 25.0 15.0

Cuadro. 1.3.5. COBERTURA DE LOS SERVICIOS DE SANEAMIENTO BASICO EN EL PERU EN EL AÑO 1991. (3)

A Ñ O	INVERSION PUBLICA	INVERSION PUBLICA EN AMBIENTE Y SALUD.	
	TOTAL	TOTAL	% DE INVERSION PUBLICA
1982	3' 106,033	107,109	3.45
1983	2' 710,530	56,041	2.07
1984	2' 557,934	75,077	2.94
1985	2' 075,399	59,860	2.88
1986	2' 214,596	116,960	5.28
1987	2' 151,906	113,373	5.27
1988	1' 405,272	54,781	3.90
1989	1' 212,413	36,939	3.05
1990	N.D.	23,077	N.D.
1991	N.D.	42,405	N.D.
1992	N.D.	N.D.	N.D.

Cuadro. 1.3.6. RELACION ENTRE LA INVERSION PUBLICA TOTAL E INVERSION PUBLICA EN SALUD Y AMBIENTE EN EL PERU. (3)
(en dólares)

N.D. - Información no disponible.

País	1er. Caso notificado	C A S O S			Total de Casos
		1 9 9 1	1 9 9 2	1 9 9 3	
Bolivia	26/08/91	206	22,260	9,189	31,655
Colombia	10/03/91	11,979	15,129	230	27,338
Ecuador	01/03/91	46,320	31,870	6,347	84,537
Perú	23/01/91	322,562	212,642	71,448	606,652
Venezuela	29/11/91	13	2,842	409	3,264
Argentina	05/02/92	---	533	2,070	2,623
Chile	12/04/91	41	73	28	142
Paraguay	25/01/93	---	---	3	3
Brasil	08/04/91	2,101	30,054	49,956	82,111

Cuadro. 1.3.7. CASOS NOTIFICADOS DE COLERA EN AMERICA DEL SUR, POR PAIS, DURANTE LOS AÑOS 1991 - 1992 Y 1993. (2)

País	Tasa de letalidad 1991 - 1993	D E F U N C I O N E S			Total de Casos
		1 9 9 1	1 9 9 2	1 9 9 3	
Bolivia	1.97	12	383	230	625
Colombia	1.34	207	158	4	369
Ecuador	1.13	697	208	55	960
Perú	0.69	2,909	727	575	4,211
Venezuela	2.45	2	68	10	80
Argentina	1.83	---	15	33	48
Chile	2.11	2	1	---	3
Paraguay	---	---	---	---	---
Brazil	1.12	26	359	535	920

Cuadro. 1.3.8. DEFUNCIONES NOTIFICADOS DE COLERA EN AMERICA DEL SUR, POR PAIS DURANTE LOS AÑOS 1991 - 1992 Y 1993. (2)

PAIS	QUINQUENIO	TODAS LAS EDADES	
		PROMEDIO ANUAL	% DE TODAS LAS CAUSAS
Colombia	1965 - 1970	24,380	12.19
	1970 - 1975	20,690	10.50
	1975 - 1980	17,320	8.93
	1980 - 1985	7,520	4.20
	1985 - 1990	---	---
Ecuador	1965 - 1970	7,090	9.85
	1970 - 1975	10,800	14.80
	1975 - 1980	10,870	15.10
	1980 - 1985	7,820	11.17
	1985 - 1990	6,420	8.68
Perú	1965 - 1970	23,080	12.02
	1970 - 1975	24,180	13.36
	1975 - 1980	26,130	13.75
	1980 - 1985	20,850	10.86
	1985 - 1990	---	---
Venezuela	1965 - 1970	7,750	10.33
	1970 - 1975	7,010	9.23
	1975 - 1980	5,430	6.62
	1980 - 1985	4,360	4.84
	1985 - 1990	3,500	3.47
Argentina	1965 - 1970	5,250	2.49
	1970 - 1975	4,390	1.95
	1975 - 1980	3,350	1.40
	1980 - 1985	1,990	0.78
	1985 - 1990	1,330	0.49
Chile	1965 - 1970	5,370	5.72
	1970 - 1975	4,100	4.65
	1975 - 1980	2,110	2.63
	1980 - 1985	790	1.08
	1985 - 1990	640	0.79
Brasil	1965 - 1970	---	---
	1970 - 1975	---	---
	1975 - 1980	83,400	8.18
	1980 - 1985	58,300	5.43
	1985 - 1990	42,800	3.80

Cuadro. 1.3.9. EVOLUCION DE LA MORTALIDAD POR ENFERMEDADES INFECCIOSAS INTESTINALES EN VARIOS PAISES DE AMERICA DEL SUR ENTRE LOS AÑOS 1965 Y 1990. (2)

PAIS	QUINQUENIO	TODAS LAS EDADES	
		PROMEDIO ANUAL	% DE TODAS LAS EDADES
Colombia	1965 - 1970	20,830	85.4
	1970 - 1975	17,450	84.4
	1975 - 1980	14,840	85.7
	1980 - 1985	6,100	81.2
	1985 - 1990	---	---
Ecuador	1965 - 1970	6,070	85.6
	1970 - 1975	9,390	86.9
	1975 - 1980	9,460	87.0
	1980 - 1985	6,620	84.6
	1985 - 1990	5,190	80.7
Perú	1965 - 1970	18,190	78.8
	1970 - 1975	19,660	81.3
	1975 - 1980	20,210	77.3
	1980 - 1985	15,030	72.1
	1985 - 1990	---	---
Venezuela	1965 - 1970	6,850	88.4
	1970 - 1975	6,370	90.8
	1975 - 1980	4,850	89.4
	1980 - 1985	3,750	86.1
	1985 - 1990	2,870	81.9
Argentina	1965 - 1970	4,880	92.9
	1970 - 1975	3,980	90.6
	1975 - 1980	2,960	88.4
	1980 - 1985	1,630	82.1
	1985 - 1990	1,000	75.5
Chile	1965 - 1970	4,840	90.2
	1970 - 1975	3,570	86.9
	1975 - 1980	1,470	69.8
	1980 - 1985	400	50.0
	1985 - 1990	240	37.1
Brasil	1965 - 1970	---	---
	1970 - 1975	---	---
	1975 - 1980	77,400	92.8
	1980 - 1985	52,500	90.1
	1985 - 1990	36,000	84.2

Cuadro. 1.3.10. EVOLUCION DE LA MORTALIDAD POR ENFERMEDADES INFECCIOSAS INTESTINALES EN NIÑOS MENORES DE AÑOS EN VARIOS PAISES DE AMERICA DEL SUR ENTRE LOS AÑOS 1965 Y 1990. (2)

CAUSA	1 9 9 0		1 9 9 1	
	NUMERO DE CASOS	(%)	NUMERO DE CASOS	(%)
TODAS LAS CAUSAS.	13,529	100.00	11,511	100.00
Causas prenatales.	4,734	34.99	3,731	32.41
Infecciones respiratorias agudas (IRA).	4,022	29.73	3,561	30.94
Enfermedades diarreicas agudas (EDA).	1,476	10.91	1,277	11.09
Deficiencias de la nutrición.	666	4.92	456	3.96
Enfermedades de las glándulas endocrinas del metabolismo y trastornos de la inmunidad.	472	3.49	237	2.06
Otras enfermedades bacterianas.	372	2.75	322	2.80
Anomalías congénitas.	357	2.64	396	3.44
Enfermedades de la circulación pulmonar y otras formas de de enfermedades del corazón.	193	1.43	159	1.38
Enfermedades del sistema nervioso.	130	0.96	137	1.19
Enfermedades del aparato digestivo.	108	0.80	92	0.80
Resto de causas.	999	7.38	1,143	9.93

Cuadro. 1.3.11. DIEZ PRIMERAS CAUSAS DE MORTALIDAD INFANTIL REGISTRADA, 1990 - 1991.⁽⁴⁾

CAUSA	1 9 9 0		1 9 9 1	
	NUMERO DE CASOS	(%)	NUMERO DE CASOS	(%)
TODAS LAS CAUSAS.	72,510	100.00	68,963	100.00
Infecciones respiratorias agudas (IRA).	14,635	20.18	13,313	19.30
Causas perinatales	4,734	6.53	3,731	5.41
Enfermedades del aparato digestivo.	4,407	6.98	3,888	5.64
Enfermedad diarréica aguda (EDA).	3,838	5.29	5,467	7.93
Enfermedades del aparato circulatorio.	3,634	5.01	3,372	4.89
Tuberculosis.	3,418	4.71	2,971	4.31
Traumatismos internos e intracraneales, incluso de los nervios.	2,749	3.79	2,471	3.58
Tumores malignos	2,650	3.65	2,684	3.89
Deficiencias de la nutrición.	2,647	3.65	---	---
Enfermedades cerebrovasculares.	2,515	3.47	2,808	4.07
Resto de causas.	27,283	37.63	28,258	40.98

Cuadro. 1.3.12. DIEZ PRIMERAS CAUSAS DE MORTALIDAD GENERAL REGISTRADA, 1990 - 1991. (4)

ENFERMEDAD	1981	1985	1990	1991	1992
T O T A L	503.5	850.2	978.9	846.0	922.7
Infecciones respiratorias agudas	200.3	419.9	588.2	415.8	498.7
Otras infec. respiratorias agudas	104.0	279.5	476.1	314.6	355.0
Resfrío común.	73.8	130.9	89.8	74.9	84.8
Influenza (gripe)	22.6	9.5	1.9	0.9	2.5
Neumonía y Bronconeumonía.	--	--	20.4	25.4	56.4
Infecciones diarreicas agudas.	125.6	209.5	221.5	284.9	272.7
Gastroenteritis y otros.	109.1	193.5	210.0	191.5	208.6
Infección Salmonella (*).	7.8	6.8	4.3	2.8	3.3
Disentería bacilar (Shigelosis) (*).	6.2	6.1	4.1	3.1	4.3
Amibiasis. (*)	2.5	3.1	3.2	3.1	3.0
Cólera. (*)	--	--	--	84.4	53.5
Helmintiasis y otros. (*)	41.4	52.5	34.8	31.0	33.6
Paludismo (Malaria)	14.8	35.0	30.8	40.1	0.0
Tuberculosis.	21.9	24.4	22.9	17.7	23.2
Tifoidea y Paratifoidea. (*)	23.9	18.0	13.6	7.0	8.9
Varicela.	6.7	9.9	6.8	4.6	11.2
Intoxicación Alimentaria.	3.6	6.6	6.6	4.8	10.0
Hepatitis vírica. (*)	7.8	7.3	5.0	2.8	3.3
Venéreas.	8.5	11.1	4.4	3.0	3.5
Papera.	4.4	4.8	2.7	--	5.3
Tos ferina.	12.0	7.2	1.1	0.5	0.2
Sarampión.	10.1	9.4	0.7	1.0	12.3
SIDA	--	0.0	0.2	0.2	0.3
Resto de enfermedades	22.5	34.5	0.2	32.6	39.5

Cuadro. 1.3.13. PRINCIPALES CAUSAS DE MORBILIDAD, SEGUN ENFERMEDAD TRANSMISIBLE, 1981 - 1992. (en miles de casos notificados) (4)

(*) Enfermedad de origen hídrico.

G R A F I C O S

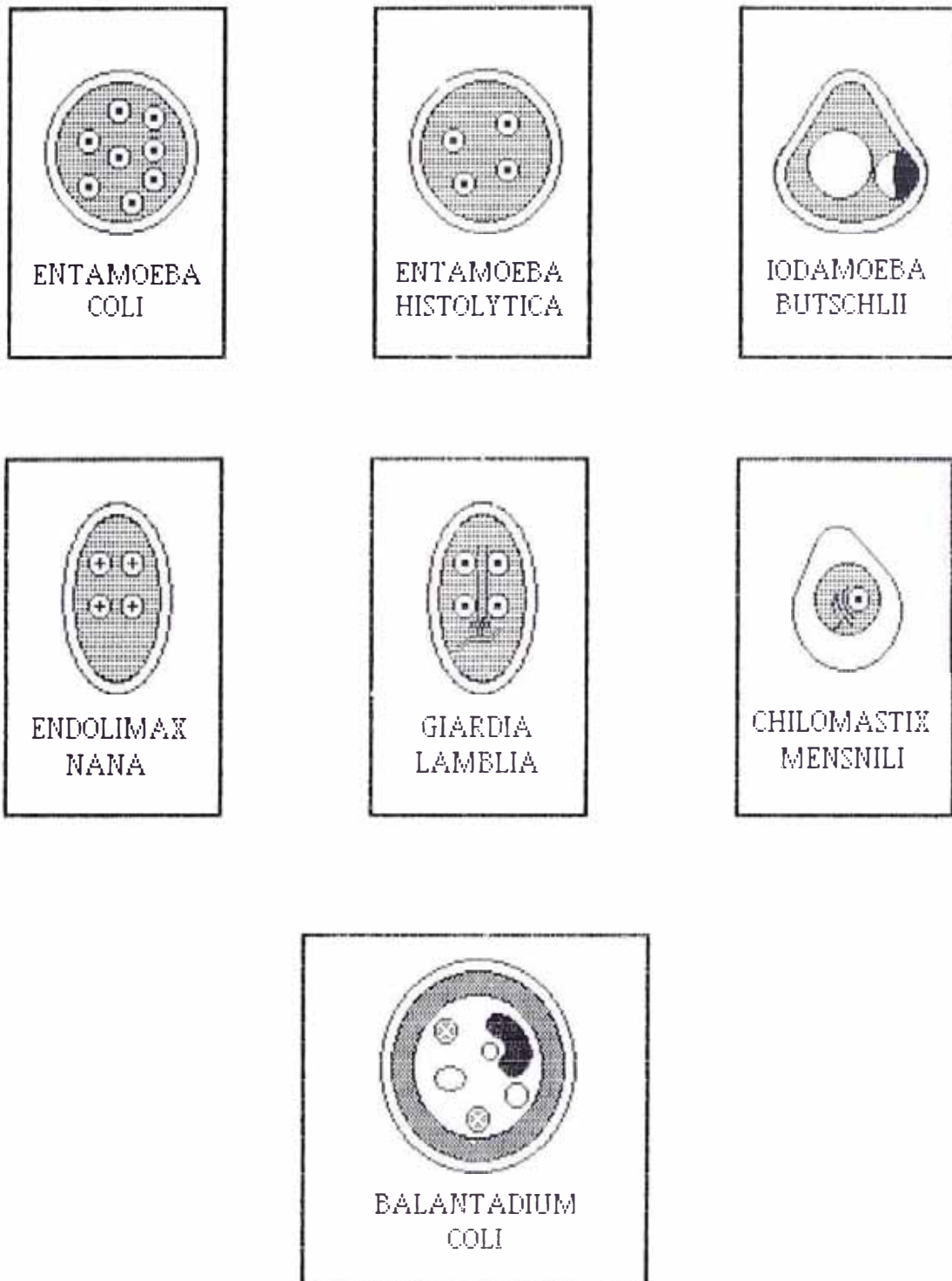


GRAFICO. 1. 3. 1. QUISTES DE PROTOZOARIOS PRESENTES EN AGUAS CONTAMINADAS. (5)

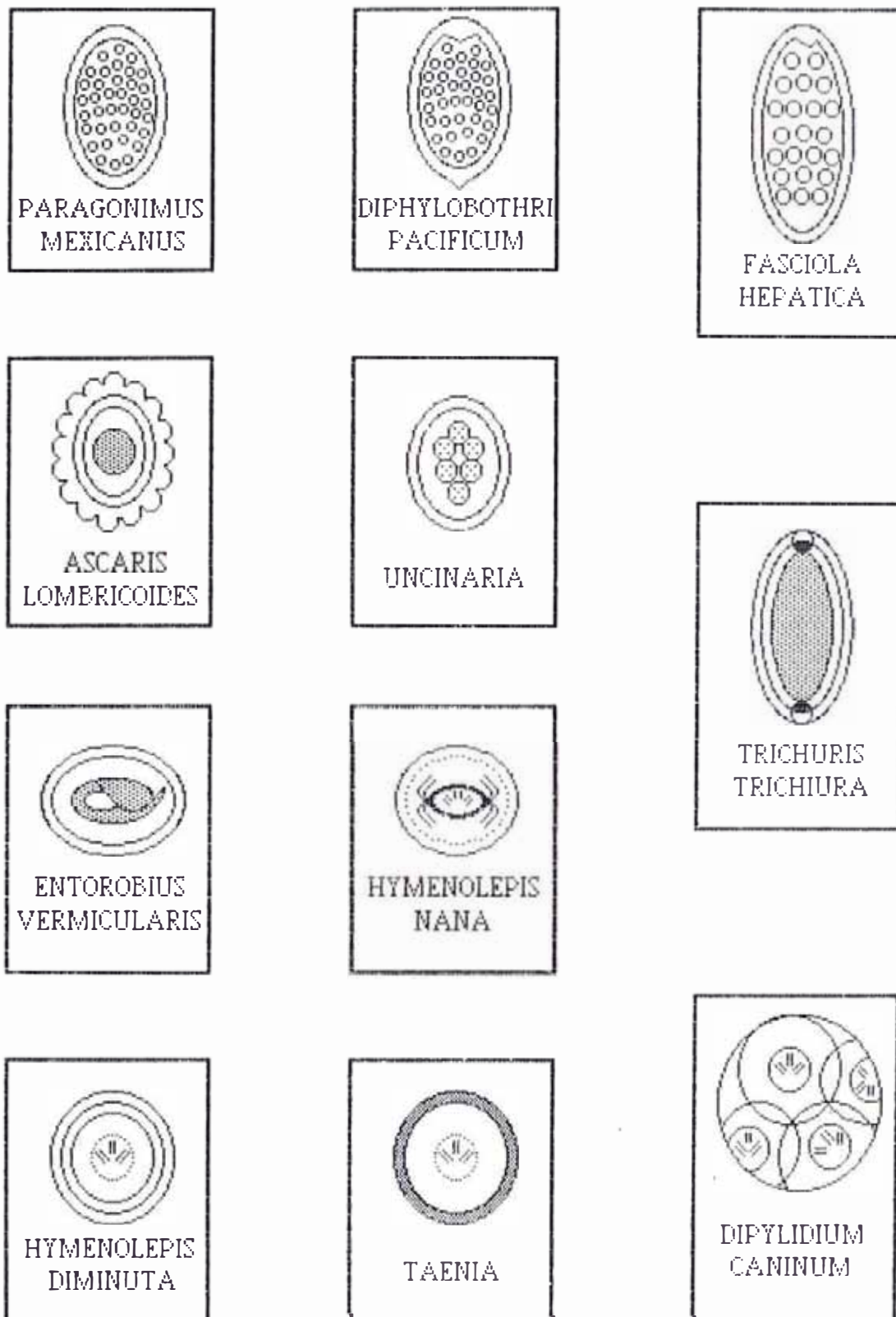


GRAFICO 1.3.2. HUEVOS DE HELMINTOS PRESENTES EN AGUAS CONTAMINADAS. (5)

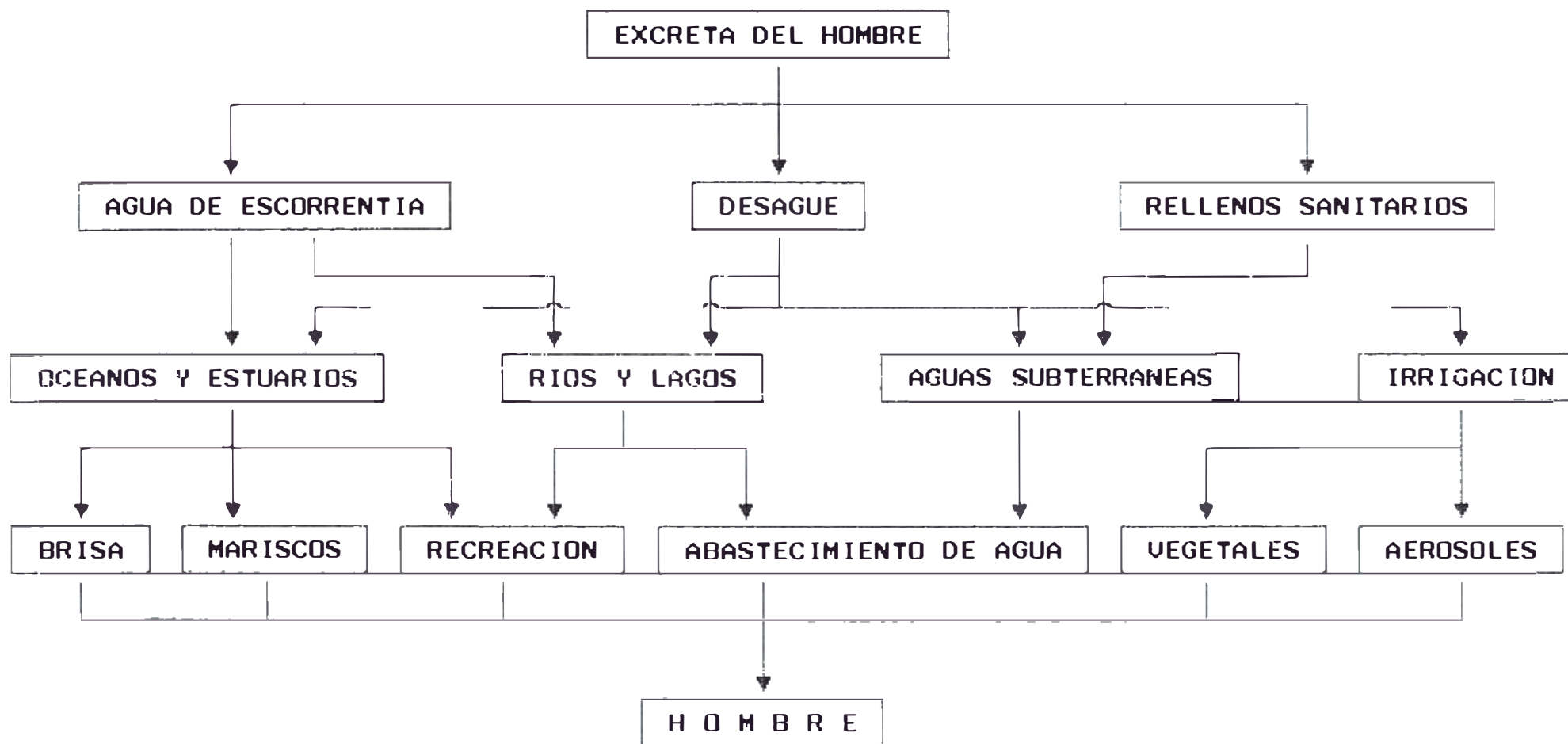


GRAFICO. 1.3.3. VIAS POTENCIALES DE LA TRANSMISION DE BACTERIAS Y VIRUS. (6)

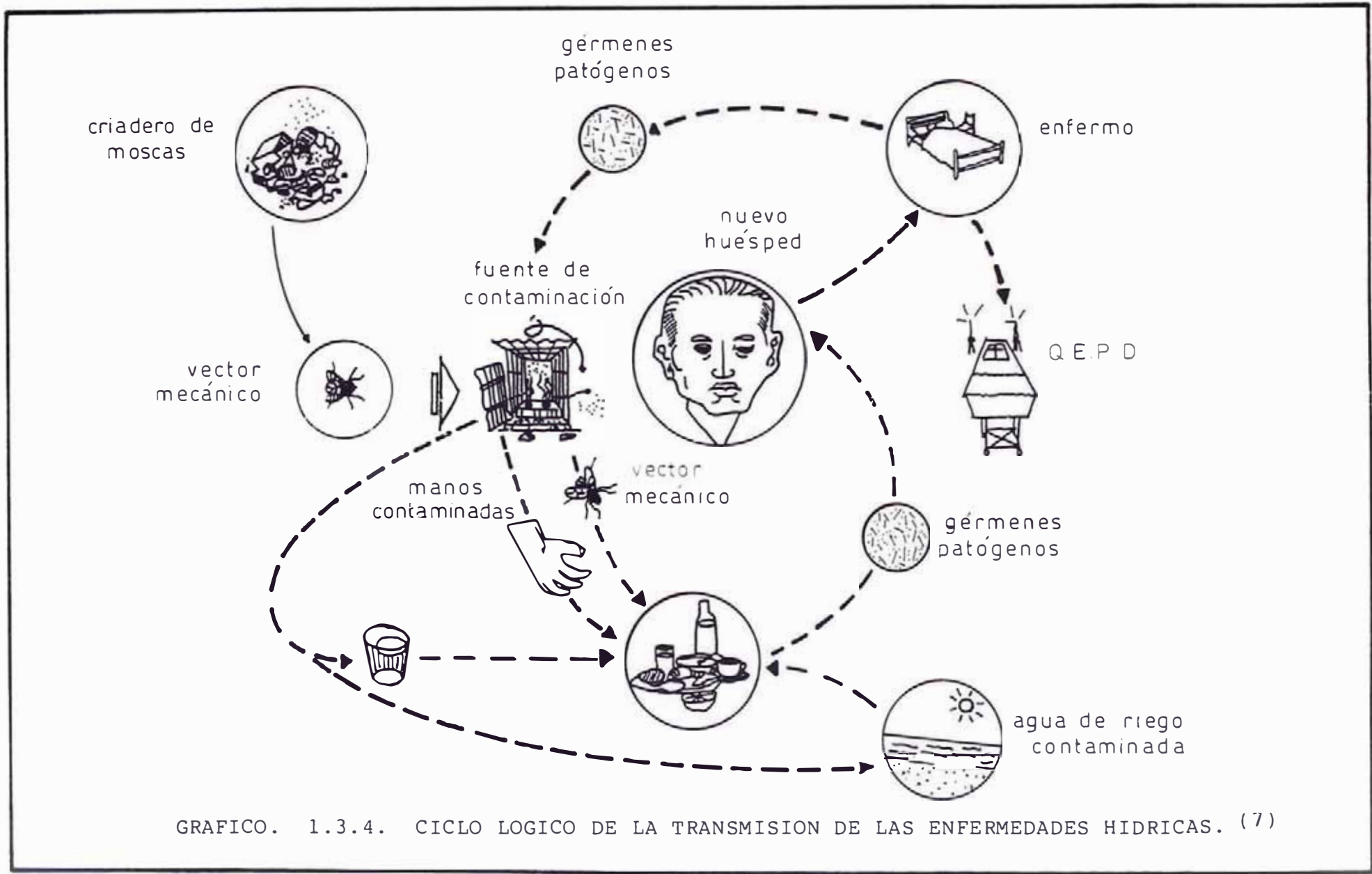


GRAFICO. 1.3.4. CICLO LOGICO DE LA TRANSMISION DE LAS ENFERMEDADES HIDRICAS. (7)

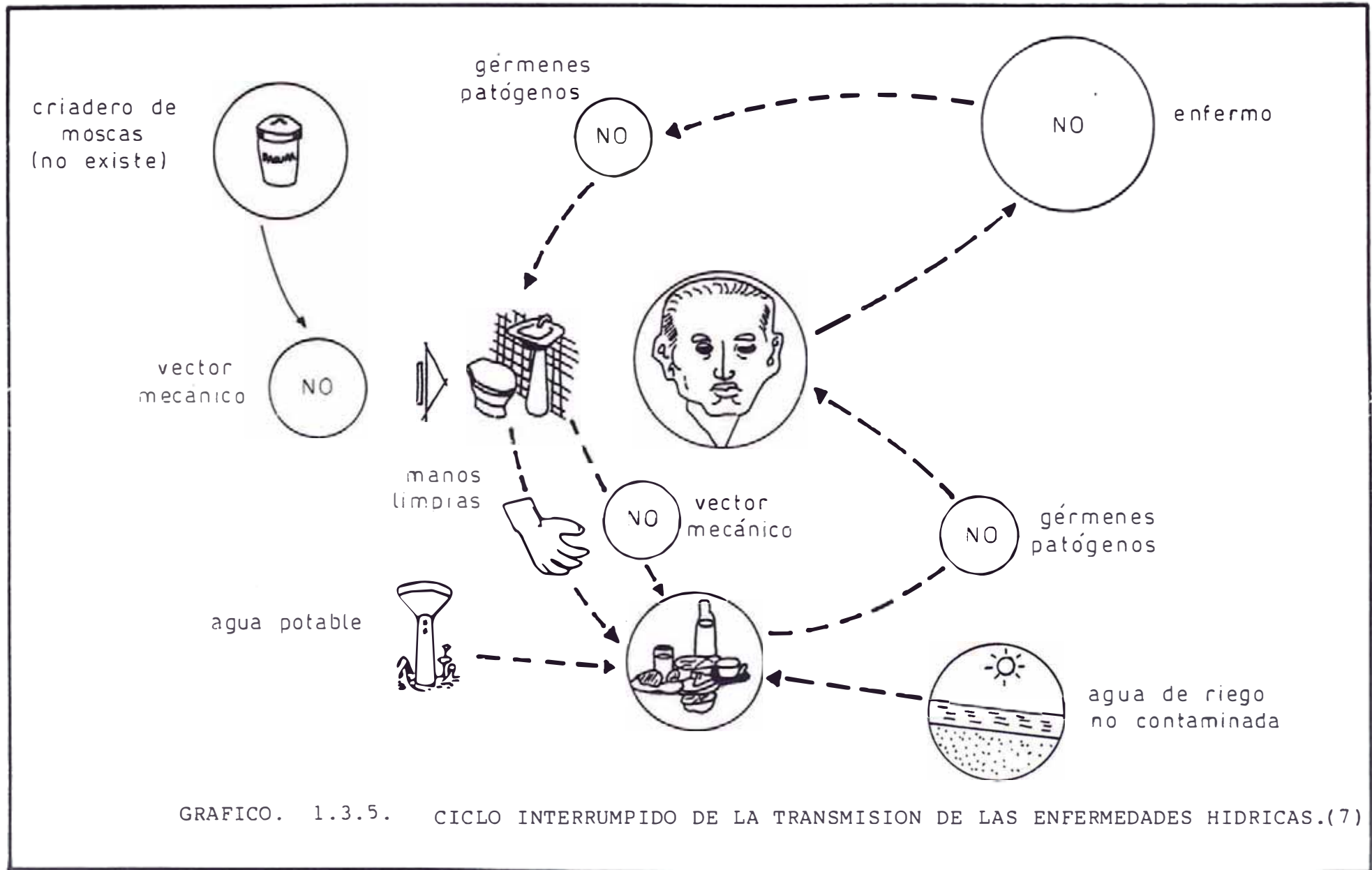


GRAFICO. 1.3.5. CICLO INTERRUMPIDO DE LA TRANSMISION DE LAS ENFERMEDADES HIDRICAS.(7)

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) INAPMAS - Instituto Nacional de Protección del Medio Ambiente para la Salud. "Boletín Informativo" correspondiente al segundo semestre del año 1994. Lima, Perú. 1994.
- (2) OMS - Organización Panamericana de la Salud. "Las Condiciones de Salud en las Américas". Vol. I. Publicación Científica # 549. 1994.
- (3) DIGESA - Ministerio de Salud. "Recopilación y Sistematización de las Condiciones Ambientales y Actividades Desarrolladas en el Control de la Epidemia del Cólera". Lima - Perú. 1994.
- (4) CUANTO. "Anuario Estadístico". Lima - Perú. 1994.
- (5) ELLIOT - CACERES. "Parasitología Médica del Perú" Lima - Perú. 1988.
- (6) CACERES, Oscar. "Desinfección del Agua". OMS - Organización Panamericana de la Salud. Lima - Perú. 1990.
- (7) SERVICIO NACIONAL DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO RURAL. "Agua como factor de vida". Buenos Aires - Argentina. 1981.

1.4. RIESGOS CONTRA EL MEDIO AMBIENTE POR CAUSA DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

Se ha mencionado los problemas que pueden ser ocasionados a la salud humana por causa de un mal manejo de las aguas residuales, y también se ha señalado que hay gran indiferencia por parte de las autoridades y también de las personas, en el cuidado de la salud; y de igual manera resulta preocupante el daño que se está ocasionando en el medio ambiente a causa del mismo problema: la mala disposición final que se le da a las aguas residuales domésticas e industriales.

En el Perú, sus habitantes han aprendido a convivir en una aparente armonía con sus desechos, sea el caso de las aguas residuales, que aplicando un método de disposición final bastante arcaico y peligroso, son arrojadas sin tratamiento alguno a la fuente de agua más cercana, sea río, lago o mar; sin la más mínima preocupación por el daño que pueda causar a la flora y fauna que depende de esa fuente de agua, lo cual de una u otra manera va a repercutir tarde o temprano en la salud de las personas.

Tal vez el caso más saltante sea el producido en la ciudad de Lima, capital del Perú, la que por su gran expansión humana y la consiguiente producción de aguas residuales, presenta un problema que tal vez no tenga solución.

Lima cuenta con una población superior a los 6.7 millones de habitantes, según el último censo realizado en 1993 ⁽¹⁾ Produce alrededor de 20

m³/seg. de aguas residuales ⁽²⁾, de las cuales sólo una pequeña cantidad es reusado en la agricultura con o sin tratamiento previo. El resto de las aguas residuales es arrojada al mar mediante una serie de emisores que son: el colector Comas, el colector Callao, el colector Costanero y el colector Surco; además del río Chillón y río Rímac, los cuales reciben una serie de vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales que los convierten en emisores naturales de las aguas residuales ⁽²⁾.

En 1984, La Dirección General del Medio Ambiente (DIGESA) del Ministerio de Salud, llevó a cabo un estudio denominado "Contaminación de Aguas en la Costa de Lima Metropolitana", en el cual se advertía el peligro que corrían las playas de la costa de Lima por la continua descarga de aguas residuales sin tratamiento alguno. En ese momento muchas de las playas que hasta ese tiempo, eran utilizadas como balnearios, ya estaban entrando en un nivel crítico, donde utilizarlas para recreación representaba un riesgo para la salud de las personas. En la actualidad, existen muchas playas, que el Ministerio de Salud ha recomendado no usar, porque su contaminación es muy alta. Se ha recomendado también que no debe ingerirse alimentos marinos tales como pescados y mariscos, que vivan cerca del litoral de la ciudad de Lima, ya que muchos de ellos se alimentan de la materia fecal flotante que se desplaza con las aguas residuales.

Se ha demostrado que el consumo de estas especies marinas contaminadas en alimentos crudos fue una de las causas de la diseminación de la

epidemia del cólera que atacó al Perú en 1991.

Con este caso se puede observar en la práctica, lo que se manifiesta en la teoría; se ha demostrado que cuando el hombre causa daño a su medio ambiente, tarde o temprano este daño va a repercutir en su salud.

Este caso no es el único que se da en nuestro país, ya que muchas de las grandes ciudades que hay en el Perú, tanto en la costa, sierra o selva, tienen este mismo problema. Estas dificultades también se han observado en otros países, pero se han ido superando con la ayuda de gobiernos que han desarrollado políticas que buscaban un equilibrio tanto económico como ambientalista.

La solución, es tratar las aguas residuales utilizando una parte en la agricultura, pero esta solución está muy lejos de la realidad al no haber decisión política e interés por parte de los gobernantes.

El estado peruano en la actualidad está desarrollando un programa de rehabilitación de los sistemas de abastecimiento de agua y colectores y emisores en varias ciudades del Perú. Esto mediante financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), pero en ninguno de ellos se ha tenido en cuenta la necesidad de construir plantas de tratamiento de aguas residuales para no afectar los cursos de agua. Del mismo modo, el estado, por medio del FONCODES, está realizando una serie de obras de abastecimiento de agua y desague a pequeñas comunidades, pero con la ancestral costumbre de que las aguas residuales

producidas serán arrojadas sin tratamiento alguno a la fuente de agua más cercana.

Finalmente, si en nuestro país no se valora la vida humana, exponiéndola a enfermedades como el cólera, que ya se creía erradicada del planeta, y a otras enfermedades de la misma índole, mucho menos interés se tiene en la preservación del medio ambiente, a pesar que ello es parte fundamental para la calidad de vida del poblador peruano.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) INEI - Instituto Nacional de Estadística e Informatica. "Censos Nacionales 1993. Perú: Resultados del Censo de Población". Lima - Perú. 1994.
- (2) DIGESA - Ministerio de Salud - Dirección General del Medio Ambiente - Dirección de Protección del Medio Ambiente. "Contaminación de las Aguas en la Costa de Lima Metropclitana". Lima - Perú. 1984.

1.5. PROBLEMAS OCASIONADOS EN LA AGRICULTURA POR EL USO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS SIN PREVIO TRATAMIENTO

La utilización de las aguas residuales para el riego de vegetales de consumo y recreación viene siendo empleado por muchos años en nuestro país. Dicha actividad representa un riesgo permanente a la salud de las personas.

Las plantas son organismos altamente selectivos, en el sentido de que no permiten que ingresen organismos extraños (bacterias, virus, parásitos) dentro de ellas, al utilizar el agua para realizar su ciclo de vida. El problema de la contaminación de los vegetales es debido a que muchos de ellos son de tallo corto y están expuestos al contacto con aguas contaminadas, pudiendo producir enfermedades a las personas que no realizan una buena limpieza de dichos vegetales. Por otro lado, muchos agricultores tienen la costumbre de lavar los vegetales después de su cosecha, para mantenerlos frescos, hasta poderlos llevar a los mercados para su respectiva venta.

El cuadro 1.5.1. muestra la clase de cultivos regados con efluentes tratados vs. riesgos para la Salud Pública y calidad requerida de efluentes, desarrollado por el Ministerio de Agricultura. Dicho cuadro es bastante explícito en clasificar las diferentes actividades realizadas en la agricultura y los riesgos que se presentan al utilizarse aguas residuales sin tratamiento para su riego.

La ciudad de Lima, es un claro ejemplo de este problema, ya que el déficit de agua para riego en los valles del Rímac y Chillón, y la expansión urbana, en los últimos años, han creado problemas en el sistema de riego. Además, la población arroja basura a los canales, colmatándolos y/o tapándolos, por lo que los agricultores se han visto obligados a captar las aguas residuales.

Por el déficit de agua de riego, se han detectado captaciones ilícitas de aguas residuales para uso en agricultura, incumpliendo las normas legales establecidas. Esto se ha observado mayormente en los diversos sectores del Cono Norte por donde pasan los principales colectores de alcantarillado que van a descargar al mar.

Además, actualmente ningún organismo del Estado hace cumplir las normas legales sobre el uso indebido de las aguas residuales en los aspectos agrícolas, a fin de garantizar a la población un producto de buena calidad. Por todo ello, existe en la población de muchos lugares del país, cierto desconcierto sobre el reuso de estas aguas con fines agrícolas.

En 1992, el Ministerio de Agricultura realizó un estudio para determinar la incidencia del uso de aguas residuales en la ciudad de Lima y alrededores, en el cual se tomaba como zona de estudio los campos agrícolas del cono norte y del cono sur de la ciudad. Dividido en sectores, el cono norte estaba conformado por: Sector San Agustín, Sector Santa Rosa, Sector Naranjal y Oquendo, Sector Chuquitanta, Sector Chacra Cerro-

Puquio, Sector La Cachaza Baja y Sector Ventanilla. El cono sur estaba conformado por: Sector San Juan y Sector Villa El Salvador. El cuadro 1.5.2. muestra la superficie agrícola regada con aguas residuales en la ciudad de Lima y alrededores. De este cuadro se puede concluir, que del área que era utilizada para agricultura y regada con aguas residuales, sólo el 11.5 % era regado con aguas residuales que habían tenido un tratamiento previo.

En la actualidad, ese porcentaje debe ser menor, porque en el caso de Ventanilla, las lagunas de estabilización ya no están operando por falta de mantenimiento y se está regando los cultivos con aguas residuales sin tratar.

El cuadro 1.5.3. muestra el caudal de reuso de aguas servidas en Lima. De este cuadro se puede concluir, que el requerimiento de agua para uso agrícola es menor que la cantidad de aguas residuales que se producen, ya que en dichos colectores discurre 4.59 m³/s. y sólo es necesario 2.29 m³/s.

Por otro lado, el CEPIS, efectuó un estudio sobre el riesgo que representa regar los alimentos de consumo crudo con aguas residuales sin previo tratamiento. En dicho estudio se determinó que las aguas usadas para la irrigación en la zona del Callao y San Martín de Porres tuvieron una media geométrica de coliformes fecales de $7 \cdot 10^6$ / 100 ml. y Salmonella en aproximadamente $2 \cdot 10^5$ / 100 ml. Mientras que los efluentes de las lagunas de estabilización de San Juan de Miraflores tuvieron una media de $1.7 \cdot 10^9$ / 100 ml. de coliformes

fecales a la salida.

Las aguas superficiales del río Lurín mostraron un promedio geométrico de coliformes fecales de $2 \cdot 10^6$ / 100 ml. y no se detectó la presencia de Salmonella en muestras de diez litros de agua.

Las aguas residuales crudas mostraron una concentración de helmintos y protozoarios comprendidos entre 100 y 1000 microorganismos por litro de muestra.

Además, los productos agrícolas irrigados con aguas residuales crudas en el Callao mostraron presencia de Salmonella en el 20.5 % de las muestras, en San Martín de Porres en 13.9 % y en San Juan de Miraflores en 5.7 % . En los vegetales procedentes de zonas irrigadas con aguas del río Lurín no se aisló Salmonella.

El cuadro 1.5.4. indica, la densidad poblacional de Coliformes fecales y Escherichia coli, realizado en 29 tipos diferentes de especies vegetales, correspondientes a un total de 4375 unidades de productos agrícolas analizados y procedentes de las zonas evaluadas.

Como se puede observar, los productos regados con aguas residuales tratadas (San Juan de Miraflores) presentan menor riesgo de contaminación, pero, por desgracia, la cobertura de tratamiento de las aguas residuales en nuestro país es muy limitado.

Además, es necesario hacer comprender a los agricultores que el uso indebido de las aguas residuales debe ser dejado por parte de ellos; pero para esto es necesario darles alternativas coherentes que les permitan seguir con el desarrollo de las actividades de las cuales dependen. Por otro lado, es el Estado el que debe poner el ejemplo tratando las aguas residuales de las ciudades y no arrojándolas directamente al curso de agua más cercano.

Finalmente, existe todavía un problema más, creado por el uso de las aguas residuales sin tratar en el riego de los campos de cultivo. Es aquel referente a los riesgos contra la salud de la gran cantidad de personas que trabajan en esos terrenos agrícolas y también sus familiares. Esa gente, que en la mayoría de los casos desconoce las más elementales normas de higiene, al estar en contacto con las aguas residuales sin tratar adquieren una serie de enfermedades, convirtiéndose en muchos casos en portadores sanos. Este problema de carácter social, aún no se ha considerado en su verdadera dimensión.

C U A D R O S

CATEGORIA DE CULTIVO	CATEGORIA "A"	CATEGORIA "B"	CATEGORIA "C"
Definiciones de Cultivo y Restricciones.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cultivos no destinados para consumo humano (Algodón). 2. Cultivos que generalmente son producidos con el fin de ser vendidos con el fin de ser consumidos antes del consumo humano (Granos). 3. Hortalizas y frutas producidos exclusivamente para ensalado u otro tipo de procesamiento que destruye prácticamente los patógenos. 4. Cultivos forrajes y otros cultivos para la alimentación animal que son desarrollados al vol y consumidos antes del consumo por los animales. 5. Riego de parques en áreas cercadas inaccesibles para el público (Viveros, Bowls, Olivos, etc.). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pasturas, cultivos forrajes frescos para consumo. 2. Cultivos para consumo que no tienen contacto directo con aguas servidas siempre que no se comercialicen las cosechas caídas (frutales), cultivos en estacas, tomate, pepino, etc. y vid regada por inundación o por goteo. 3. Cultivos de consumo humano que habitualmente se sirven cocidos (papa, berenjena, remolacha). 4. Cultivos de consumo humano que se sirven crudos pero cuya cosecha no es consumida (melón, cítricos, plátano, nueces, maní). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Todo cultivo para consumo humano que habitualmente se sirve crudo y que se cultiva en contacto directo con efluentes (hortalizas frescas, tales como: lechuga, tomate, zanahoria o fruta ultimamente regada por aspersión). 2. Riego de parques (parques y prados) en el área de libre acceso al público, inmediatamente tras el riego, siempre que durante el riego por aspersión estas áreas se encuentren cercadas y no haya acceso libre al público a por lo menos 15 m. de la zona regada (campos de golf, prados, parques).
Nivel de riesgo cuando se riega con efluentes de tratamiento.	BAJO	INTERMEDIO	ALTO
Calidad requerida de efluentes para evitar riesgos de salud pública.	BAJA	INTERMEDIA	ALTA
Restricciones Generales.	Campos regados por aspersión con efluente de aguas servidas tratadas por todos los métodos, menos el efluente del proceso de tratamiento de aguas servidas suelo-aerífero se encuentran en una distancia no menor a los 100 m. de áreas residenciales tal como la Ley Peruana lo exige.		

ZONA	TOMA PRINCIPAL Y/O COLECTOR	SECTORES	Ha.
RIMAC	TOMA SAN AGUSTIN Y COLECTOR N° 6.	SAN AGUSTIN	591
CHILLON	COLECTOR COMAS	SANTA ROSA	120
	TOMA CHILLON Y COLECTOR CARABAYLLO	CHACRA Y CERRO PUQUITO	162
	TOMA CHUQUITANTA Y COLECTOR SANTA MARIA	CHUQUITANTA	490
	TOMA NARANJAL Y COLECTOR CHILLON	NARANJAL OQUENDO	350 495
	CANAL LA CACHAZA (BAJO) Y COLECTOR PUENTE PIEDRA	LA CACHAZA CHILLON BAJO	135
	COLECTOR URBANIZA- CION SAN DIEGO	MONTE CULEBRA	23
	VENTANILLA	LAGUNA DE TRATA- MIENTO DE VENTA- NILLA	VENTANILLA
VILLA EL SALVADOR	LAGUNA DE TRATA- MIENTO DE VILLA EL SALVADOR	VILLA EL SALVADOR	78
SAN JUAN	LAGUNA DE TRATA- MIENTO DE SAN JUAN	SAN JUAN	180
			2672

CUADRO. 1.5.2. SUPERFICIE AGRICOLA REGADA CON AGUAS
RESIDUALES. (1)

SECTORES	AREA AGRICOLA Ha.	CAPTACION PRINCIPAL	CAUDAL (m ³ /S.)	
			AFORADO	REQUERIDO
SAN AGUSTIN	591	COLECTOR N ^o 6	1.06	
		TOMA EN EL RIO RIMAC	0.50	0.50
SANTA ROSA Y OQUENDO	615	COLECTOR COMAS	1.74	0.55
NARANJAL Y CHUQUITANTA	840	COLECTOR CHILLON Y TOMA RIO CHILLON	0.54	
			0.20	0.75
CHACRA CERRO- PUQUIO	162	COLECTOR CARABAYLLO	0.15	0.15
LA CACHAZA MONTE CULEBRA	158	COLECTOR PUENTE PIEDRA	0.11	
		CANAL PRINCIPAL	0.10	0.15
VENTANILLA	190	COLECTOR VENTANILLA	0.19	0.19

CUADRO. 1.5.3. REUSO DE AGUAS RESIDUALES POR SECTORES (CAUDAL AFORADO Y REQUERIDO). (1)

ZONAS	% DE MUESTRAS EN NMP/GRANO, EN NIVELES SEÑALADOS					
	COLIFORME FECAL			ESCHERICHIA COLI		
	<100	<100-10000>	>10000	<10	<10-1000>	>1000
CIENEGUILLA RIO LURIN	97	3	0	94	6	0
SAN JUAN SAN JUAN DE MIRAFLORES	66	34	0	39.5	58	2.5
SANTA ROSA S.M. DE PORRES + SAN AGUSTIN CALLAO	32	49	19	27	57	16

CUADRO. 1.5.4. DISTRIBUCION PORCENTUAL DE LA DENSIDAD BACTERIANA EN LOS PRODUCTOS AGRICOLAS POR ZONAS EVALUADAS, SEGUN INDICADORES DE CONTAMINACION. ⁽²⁾

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.

- (1) PRONARDRET. "Diagnóstico del Uso de las Aguas Servidas con Fines de Riego de la Ciudad de Lima y Alrededores". Proyecto Nacional de Mejoramiento de Riego y Drenaje - Dirección de Aguas Servidas Tratadas - Ministerio de Agricultura. Perú. 1992.

- (2) CEPIS. "Evaluación de Riesgo para la Salud por el Uso de Aguas Residuales en Agricultura". Resumen Ejecutivo. Lima - Perú. 1990.

1.6. NORMATIVIDAD EXISTENTE EN EL PERU. PARA LA ADECUADA DISPOSICION FINAL DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS.

El Perú tiene una corta historia, en lo que a legislación se refiere, sobre la disposición de aguas residuales. El 1er. documento donde se norma el uso de las aguas residuales en la agricultura, fue EL REGLAMENTO SANITARIO PARA LA CONSECION DE AGUAS NEGRAS CON FINES DE IRRIGACION", D.S. Nº 84-DGS del 16 de Junio de 1967.

Este dispositivo legal constaba de siete (7) capítulos, que eran: Disposiciones Generales, Definiciones, Tramitaciones, Requisitos Técnicos, Protección Sanitaria, Tarifas, Infracciones y Sanciones.

En este Reglamento destacaban algunos criterios bastante importantes, tales como:

- a. Que los vegetales de tallo corto y rastreros de consumo crudo no podrían ser regados con aguas negras con o sin tratamiento.
- b. Se clasificaban los vegetales según su uso y la forma de utilización en la alimentación. De acuerdo con ello, se determinaba el tipo adecuado de tratamiento.
- c. Se señalaba que los terrenos que se regaban con aguas negras, tenían que estar cercados y con carteles que indiquen a la población del posible peligro si es que se ingresaba al lugar; así como la distancia mínima de 800 m. que debía existir entre una zona de regadío con aguas negras y las

poblaciones aledañas.

- d. El concesionario o Arrendatario según los casos, estaba obligado a preservar la salud del personal que laboraba en las faenas agrícolas de los terrenos regados con aguas negras.

Muchos de los conceptos expuestos en este reglamento fueron tomados como base para la elaboración de la Ley General de Aguas y sus Reglamentos.

Actualmente, es la Ley General de Aguas, la norma de mayor jerarquía en cuanto a aspectos del agua se refiere. En el Reglamento (promulgado en 1970) del Título III: "DE LOS USOS DE LAS AGUAS", en su Capítulo VIII: "DEL USO DE LAS AGUAS SERVIDAS CON FINES DE IRRIGACION", se establecen las condiciones en las que se puede utilizar aguas residuales para fines agrícolas y donde se señala la clasificación de los diferentes tipos de tratamiento (art. 187 y 188). Así pues:

- a. Se considera tratamiento primario a los procesos dados en tanques sépticos, tanques Imhoffs o tanques de sedimentación, con o sin coagulación química, estén o no precedidos por cámaras de rejas, desarenadores o dispositivos similares y lagunas de oxidación con fase anaeróbica.
- b. Se considera tratamiento secundario, los que cuenten con procesos que se realicen en filtros biológicos, filtros de arena, sistemas de lodos activados, sistemas de oxidación total y lagunas de estabilización, considerándose en este último caso, sólo las aeróbicas.

Igualmente se señalan las restricciones del uso de aguas residuales en los diferentes tipos de productos agrícolas utilizando la clasificación anterior (art. 196 y 197). Así pues:

- a. Los vegetales de tallo corto y rastreros que se consumen crudos en la alimentación, no podrán ser regados con aguas servidas con o sin tratamiento.
- b. Los cultivos industriales utilizados en la alimentación humana, que sean sometidos a procesos de industrialización que incluyan la esterilización, requerirán de tratamiento primario como mínimo, con excepción del cultivo de caña de azúcar con fines industriales para el cual se requerirá un tratamiento mínimo en base a cámara de rejas.
- c. En cultivos industriales, tales como algodón, maíz y especies forestales, se permitirá el uso de aguas servidas, sometidas a tratamiento secundario.
- d. En cultivos como alfalfa, gramalote, chala, etc. que se utilicen para forraje de ganado, se permitirá el uso de aguas servidas sometidas a tratamiento secundario y con la absoluta prohibición de que el ganado lechero tenga acceso a los campos.

Este reglamento es aplicable cuando la disposición final de las aguas residuales es el uso agrícola.

En el caso que las aguas residuales tengan como disposición final un cuerpo de agua, debemos

referirnos al Reglamento del Título II: "DE LA CONSERVACION Y PRESERVACION DE LAS AGUAS", Capítulo IV: "DE LA CLASIFICACION DE LOS CURSOS DE AGUA Y DE LAS ZONAS COSTERAS DEL PAIS", en el cual se señala los valores de los límites máximos permisibles en los cursos de agua, de los diferentes elementos, compuestos y organismos que representan un riesgo para la salud humana y el medio ambiente. Este Reglamento, en su art. 81, clasifica los cursos de agua respecto al uso que se le da, siendo estos los siguientes:

- I. Aguas de abastecimiento doméstico con simple desinfección.
- II. Aguas de Abastecimiento doméstico con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, filtración, y cloración, aprobados por el Ministerio de Salud.
- III. Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales.
- IV. Aguas de zonas recreativas de contacto primario (baños y similares).
- V. Aguas de zonas de pesca de mariscos bivalvos.
- VI. Aguas de zonas de Preservación de Fauna Acuática y Pesca Recreativa o Comercial.

En el art. 82 se indican los valores de los límites máximos permisibles, los cuales se muestran en el cuadro 1.6.1.

Es necesario tener en cuenta que estas normas representaban una herramienta con la que puede contar la autoridad para garantizar la disposición más adecuada de las aguas residuales, según sea el caso. Estas disposiciones legales, cada una en su tiempo, fueron elaboradas por profesionales capacitados y sobre todo, que conocían la magnitud del problema; problema que sólo en salud humana ha evidenciado a las enfermedades de origen hídrico como la segunda causa de mortalidad en nuestro país.

Por desgracia, el uso de estas normas ha sido limitado a lo mínimo, es decir al cobro de tarifas por parte de los Ministerios de Agricultura y Salud, dejando de lado los principios fundamentales con los que se concibieron, es decir proteger la salud de las personas y preservar el medio ambiente.

Un completo caos gobierna la situación. Los agricultores usan en forma indiscriminada y sin ningún tipo de tratamiento las aguas residuales, mientras que el Ministerio de Salud, ya sea por falta de recursos o por falta de autoridad, no puede encontrar una solución a un problema ancestral que aumenta en la misma proporción como aumenta la población en nuestro país.

Como conclusión, podemos decir que en el Perú, el problema de la inadecuada disposición de las aguas residuales no ha sido solucionado por falta de leyes, sino por falta de decisión política y falta de autoridad de los encargados de suministrarla. Y esta situación es generalizada en todo el subsector saneamiento. Recordemos que en

el año 1991 nuestro país sufrió los impactos de la aparición de la enfermedad del cólera, problema que se profundizó a causa de la mala organización del subsector saneamiento. En algo en que coincidieron todos los observadores internacionales que vinieron a cubrir los tiempos del cólera en el Perú, fue que este se propagó con mayor facilidad por no contarse con los adecuados servicios de saneamiento básico; es decir por no contar con un eficiente sistema de distribución de agua, con un eficiente sistema de recolección y disposición de las aguas residuales, con un eficiente sistema de recolección de basuras y tal vez lo más importante, no contar con una población preparada para estos problemas, es decir una población inculta en lo que a educación sanitaria se refiere.

Actualmente nuestro país ya casi ha olvidado la epidemia del cólera, pero el problema está latente, y nuevos problemas han surgido tales como los brotes de peste bubónica en el interior de nuestro país, enfermedad que ya ha reclamado muchas vidas, para la cual, nuestras autoridades no encuentran riesgo alguno todavía.

No olvidemos que las grandes plagas que asotaron a la humanidad a través de la historia y reclamaron millones de vidas, fueron en un primer momento tomadas a la ligera por las personas, dándosele importancia, cuando ya era demasiado tarde.

Para concluir, el doctor Abel Wolman, Profesor Emérito de Ingeniería Sanitaria de la Universidad John Hopkins y reconocido como uno de

los "Padres del Saneamiento" decía:

"Las estadísticas son indispensables pero no apelan a la emotividad. Un sólo niño enfermo, si su caso nos toca de cerca, nos da una idea más cabal de la tragedia que representa la morbilidad infantil, que 100 páginas de estadística al respecto".

"No se puede edificar ninguna obra de salud sobre cimientos sin sanear. Los servicios de Asistencia Médica y de Hospitalización son asuntos de la mayor importancia, pero no se darán abasto si se edifican sobre las arenas movedizas de un saneamiento deficiente".

"Se oye decir con frecuencia irritante, que la culpa es de la gente, cuando la causa principal del inmovilismo actual, es la falta de motivación de los gobiernos. Creen de verdad los gobernantes en lo que afirman en sus declaraciones grandielocuentes, cuando proclaman la necesidad de la Salud para todos?. Por qué no pasan entonces a la acción?.

"Lo que queda por hacer es difícil pero no imposible. No hay que tolerar que millones de personas sigan condenadas, por cobardía y apatía, a una muerte prematura. Hay que apresurarse!.

Las palabras del Dr. Abel Wolman, expresadas hace más de 15 años, no han perdido validez. Lamentablemente, este connotado científico, falleció el 22 de Febrero de 1989, después de dedicar más de medio siglo de su existencia a la salud ambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) Reglamento Sanitario para la Conseción de aguas negras, con fines de irrigación. D.S. Nº 84 - DGS del 16 de Junio de 1967.

- (2) Ley General de Aguas. D.L. Nº 17752 - Reglamento del Título III: "DE LOS USOS DE LAS AGUAS", en su Capítulo VIII: "DEL USO DE LAS AGUAS SERVIDAS CON FINES DE IRRIGACION". D.S. Nº 41-70-A.

C U A D R O S

	I	II	III	IV	V	VI
pH	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9
Unidad :	N.M.P. / 100 ml.					
Coliformes Totales	8.8	20,000	5,000	5,000	1,000	20,000
Coliformes Fecales	0	4,000	1,000	1,000	200	4,000
Unidad :	mg / lt.					
D.B.O.	5	5	15	10	10	10
O.D.	3	3	3	3	5	4
Grasas	1.5	1.5	0.5	0.2	0	0
Detergentes	0.5	0.5	1	1	0	0
Unidad :	mg / m ³ .					
Selenio	10	10	50	---	5	10
Mercurio	2	2	10	---	0.1	0.2
PCB	1	1	1	---	2	2
Esteres, Estalatos	0.3	0.3	0.3	---	0.3	0.3
Cadmio	10	10	50	---	0.2	4
Cromo	50	50	1,000	---	50	50
Niquel	2	2	1	---	2	---
Cobre	1,000	1,000	500	---	10	---
Plomo	50	50	100	---	10	30
Zinc	5,000	5,000	25,000	---	20	---
Cianuros	200	200	1	---	5	5
Fenoles	0.5	1	1	---	1	100
Sulfuros	1	2	1	---	2	2
Arsénico	100	100	200	---	10	50
Nitratos	10	10	100	---	---	---

Cuadro. 1.6.1. VALORES LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE LOS ELEMENTOS PRESENTES EN LAS AGUAS Y QUE PUEDEN REPRESENTAR UN RIESGO PARA LA SALUD HUMANA Y EL MEDIO AMBIENTE. (REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DE AGUAS). (2)

CAPITULO II

LAS AGUAS RESIDUALES

LAS AGUAS RESIDUALES

2.1. CONCEPTOS SOBRE LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS; Y LAS AGUAS RESIDUALES

Dentro de las principales características del agua, destaca la gran capacidad disolvente que posee. Razón por la cual, el agua está propensa a asimilar una serie de cuerpos, con vida o sin ella, grandes o pequeños, inofensivos o peligrosos, capaces de alterar sus características iniciales.

Es por ello que las aguas residuales sirven de vehículo a la más impresionante variedad de elementos y materias. Además de excretas, conducen papel, cartón, trapos; gasa y algodón de los hospitales; restos de colchones viejos, animales muertos, maleza, tierra, metales pesados, piedras, restos de comida, aceites, grasas y detergentes; y para terminar de complicar el manejo de toda esta gama de componentes inmersos en el agua, contienen microorganismos patógenos en elevada cantidad.

Según Camp, el número total de microorganismos vivos en heces frescas es de aproximadamente 1'000,000'000,000 por persona y por día, entre los cuales se encuentran bacterias, virus, protozoos y helmintos, causantes asimismo de las enfermedades "de origen hídrico" donde destaca el vibrio cholerae, causante de la enfermedad del cólera, la cual ha dado a nuestro país una mala reputación, no sólo por ser el país donde se originó la epidemia que atacó a América Latina, sino además, por ser el país con mayor número de casos registrados.

Según el catastro oficial de vertimientos de aguas servidas a los cursos de agua del país, el volumen de aguas residuales domésticas e industriales vertidas sin tratamiento, es de alrededor de 1,200 millones de metros cúbicos al año. En esta cifra no se cuenta por supuesto el volumen de aguas servidas que, también sin tratar, es utilizado en el cultivo de hortalizas de consumo crudo.

Si estas cifras aún no revelaran con claridad la magnitud del problema, es necesario hacer hincapié en el hecho que, en la ciudad de Lima, se estima existen aproximadamente 4.5 millones de habitantes que cuentan con servicio de desagüe y que cada una de ellas evacúa diariamente un promedio de 200 grs. de excretas. Ello equivale a 900 toneladas diarias de esa materia que el servicio de alcantarillado arroja a las playas de Lima, donde precisamente millones de bañistas acuden anualmente a recrearse en la temporada de verano; o se practica la pesca artesanal, cuyos productos luego los consume la misma población limeña.

Para agravar aún más este problema, los aguas residuales de los hospitales donde incluso se atienden los enfermos del cólera, también llegan sin tratar a los cursos de agua y al mar, con lo que se estaría cerrando el ciclo para que esta enfermedad siga persistiendo en nuestro medio.

Como se ha mencionado, el agua puede alojar a una gran variedad de cuerpos que bien pueden causar daños a la salud de las personas, ya sea en forma directa o dañando el medio ambiente del cual

dependemos.

Se considera que el agua está contaminada cuando presenta alteraciones en sus características iniciales, las cuales en su mayoría son causadas por el hombre; representando un riesgo para la salud y la calidad del medio ambiente.

Las aguas residuales domésticas, son de por si aguas contaminadas, y representan un riesgo si es que no tienen un manejo adecuado.

Analizando que es lo que encontramos en un agua residual doméstica, podemos identificar la gran cantidad de riesgos que se presentan y cuales son los procesos aplicados, por lo general, para eliminar dichos riesgos.

Como se dijo, las aguas residuales domésticas pueden presentar objetos de considerable tamaño, los cuales pueden ser removidos utilizando una criba o rejas de tal forma que quede retenido todo el material de tamaño mayor.

Luego se encuentran las partículas discretas que conservan su forma y tamaño; las cuales pueden precipitar por acción de la gravedad en un tiempo corto, tales como la arena. Estas partículas pueden ser removidas mediante medios físicos, utilizando una unidad de desarenado.

Luego vienen aquellas partículas que por tener un tamaño y densidad muy pequeña, tardarían mucho tiempo en precipitar por acción de la gravedad. Dentro de este grupo encontramos los

denominados coloides (que por tener características especiales serán estudiados más adelante) que son causantes de la turbiedad y del color en las aguas.

Además, se encuentran presentes un sin número de microorganismos que van desde: virus, bacterias, algas, protozoarios, huevos de helmintos, rotíferos, etc. Por lo general, las partículas causantes de turbiedad y color son removidas mediante el uso de compuestos químicos, que utilizados como coagulantes, neutralizan las cargas eléctricas desestabilizando a las partículas, produciendo que se adhieran unas a otras y cuando alcanzan un tamaño y peso considerado, precipitan por acción de la gravedad. Gran parte de los microorganismos son removidos en el tratamiento químico antes señalado, en especial los de mayor tamaño, pero un gran porcentaje de estos es eliminado por medio de la desinfección; de igual manera, con el tratamiento biológico, en el cual se desarrollan especies superiores que se alimentan de las bacterias y otros agentes patógenos. Así también, como en una relación sinbiótica, algas y bacterias remueven la carga orgánica presente en aguas residuales.

Finalmente, encontramos compuestos químicos, los que se encuentran disueltos en estado molecular en el agua, formando iones que pueden representar un peligro para la salud. Estos compuestos pueden ser removidos utilizando tratamiento químico, filtros de carbón activado o sistemas de intercambio iónico.

El gráfico 2.1.1. muestra las diferentes formas, inertes o vivas, que se pueden encontrar en las aguas residuales, según su tamaño.

Es necesario aclarar, que para remover un tipo de partícula específica, se debe remover las de mayor tamaño, esto porque la eficiencia de remoción del tratamiento se ve afectado por la presencia de partículas para las cuales, dicho tratamiento no fue diseñado. Por ejemplo, es necesario remover la turbiedad para poder aplicar la desinfección por cloración, esto debido a que los microorganismos utilizan estas partículas para protegerse contra los agentes clorados, requiriéndose mayores concentraciones de cloro y mayor tiempo de contacto para obtener la remoción deseada. Pero para remover las partículas causantes de turbiedad, es necesario remover las partículas discretas (arenas), por que estas reducirían mucho la eficiencia de los decantadores y filtros; y para remover las partículas discretas es necesario eliminar los objetos de mayor tamaño (plásticos, madera, trapos, etc.) porque sino ocasionarían que los desarenadores dejen de funcionar rápidamente.

Muchas veces, cuando las aguas residuales domésticas de una comunidad se juntan con las aguas residuales industriales para darles una misma disposición final, es común encontrar grandes concentraciones de compuestos químicos que pueden inhibir la remoción que realizan los microorganismos en el tratamiento biológico, disminuyendo la eficiencia del tratamiento. Por lo que se exige, que toda industria cuyas aguas residuales sobrepasen los valores máximos

permisibles de ciertos parámetros establecidos por la autoridad, realice un tratamiento que garantice que sus aguas residuales tengan los valores de dichos parámetros por debajo del máximo permisible, lo cual favorece fuertemente el tratamiento final.

De lo expresado, se puede concluir, que el grado de tratamiento de las aguas residuales va a depender del fin que se les quiera dar, ya que a medida que dicho fin sea el de una mayor seguridad para la salud de las personas, mayor será el grado en el tratamiento, lo cual también significa un mayor costo económico.

G R A F I C O S

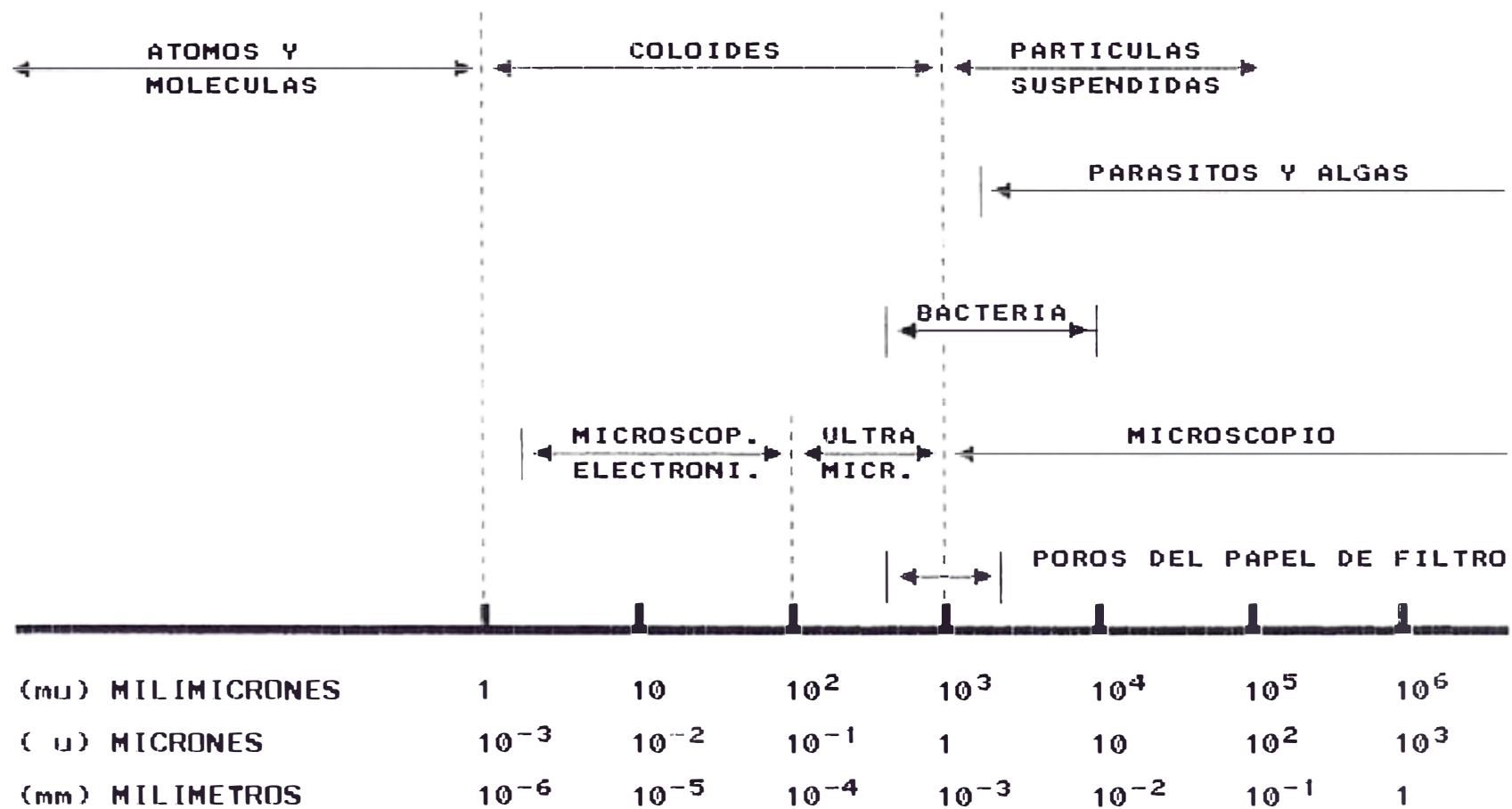


GRAFICO. 2.1.1. TAMAÑO DE LAS PARTICULAS QUE SE PUEDEN ENCONTRAR EN LAS AGUAS RESIDUALES. (1)

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) ARBOLEDA, Jorge. "Teoría, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del Agua". OMS - Organización Panamericana de la Salud. Lima - Perú. 1973.

2.2. PARAMETROS QUE SON NECESARIOS CONOCER EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

Es necesario conocer y entender la composición de las aguas residuales domésticas, por lo que en éste numeral se debe considerar una serie de conceptos básicos relacionados con los análisis de laboratorio que se deben realizar.

Los siguientes parámetros permiten, además de conocer la concentración de las sustancias de mayor interés, tener una visión de conjunto sobre su composición química, aspecto físico y características biológicas.

Entre las determinaciones físicas y químicas; es importante obtener una información precisa sobre los siguientes valores:

1. Temperatura - Es necesario precisar su magnitud, ya que está vinculado con el tratamiento de las aguas residuales y los procesos naturales de autodepuración, necesarios para estimar el comportamiento de los procesos aerobios y anaerobios que en esos casos se aplican o intervienen. Además porque la mayor o menor intensidad de las reacciones químicas y procesos biológicos dependen de la temperatura del ambiente o medio en donde ellos se manifiestan. Se puede afirmar sin duda alguna que, a medida que la temperatura sea mayor, tanto las reacciones químicas como la actividad microbiológica será favorecida, pero ello no ocurre en forma indeterminada ya que a partir de los 60 °C. se produce la mortandad de la mayoría de los microorganismos.

2. Turbiedad - Este parámetro nos permite tener una idea de la cantidad de materias extrañas en suspensión que pueden estar presentes en las aguas residuales, en especial: arcillas, limo, materia orgánica finamente dividida, plankton u organismos microscópicos. Se utiliza mayormente, para precisar la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento. Por otra parte, la presencia de altas cantidades de turbiedad dificultan el proceso de la desinfección, así como ocasiona malestar estético.

3. Color - En aguas residuales, por lo general, refleja las condiciones mismas del líquido relacionadas con su envejecimiento y la presencia en ellos de residuos industriales. Es de particular interés en los efluentes de plantas de tratamiento cuando son vertidos a cursos de agua receptoras.

4. Olores - En aguas residuales, muestran el grado de septicidad del líquido residual: crudo o fresco, rancio y séptico. El olor, además, puede indicar o hacer sospechar la presencia de ciertos residuos industriales de interés para el ingeniero, cuando se trata de establecer antecedentes que ayuden a fijar los métodos de acondicionamiento y estabilización de estos residuos.

5. Sólidos totales, fijos y volátiles - La materia orgánica presente en las aguas residuales (después de haber sido evaporada), que mide la concentración y estado físico de sus constituyentes, es de interés para determinar la presencia de aquellos sólidos que por su naturaleza le transfieren propiedades indeseables

al agua. Aún cuando los resultados de los residuos (total, fijo y volátil) están sujetos a errores apreciables a causa de la pérdida de compuestos volátiles durante la evaporación (tales como el dióxido de carbono), la incineración (como los minerales volátiles) y las cenizas (como el óxido de calcio); son junto con los valores de Demanda Bioquímica y Demanda Química de Oxígeno, los valores más representativos para conocer y estimar la cantidad de materia mineral y orgánica presente en las aguas residuales.

- a. El residuo fijo es el remanente después de la evaporación, carbonización e incineración durante 1 hora y a 600 °C; definiendo el contenido de sólidos fijos, dando idea sobre el contenido de materia mineral, mas no permite distinguir si es residuo orgánico o inorgánico. Esto debido a que las pérdidas por ignición no están limitadas a materia orgánica, sino que incluye, además, pérdidas debidas a la descomposición o volatilización de ciertas sales minerales.
- b. El residuo total es el remanente después de la evaporación y secado de la muestra (sin sedimentar, filtrar o centrifugar) a 103 °C durante 1 hora; determinando los sólidos totales (fijos y volátiles).
- c. La diferencia entre los residuos totales y los fijos, definen el contenido de sólidos volátiles, los cuales son muy representativos y constituyen, mayormente, los sólidos orgánicos presentes en las aguas residuales. Esto debido a que, la materia orgánica se

quema durante la incineración de la muestra, permaneciendo en ésta, básicamente, la materia mineral.

6. Sólidos totales, suspendidos, disueltos y coloidales - Son de mucho interés con relación a los procesos utilizados en el campo del tratamiento de las aguas. Así:

- a. Los sólidos suspendidos (de tamaño mayor a una micra de diámetro) pueden ser removidos mediante la aplicación de tratamientos físicos sencillos, tales como sedimentación simple. Dentro de los sólidos suspendidos está la fracción de sólidos sedimentables, que es la porción removible por decantación, representados por los sólidos que decantan durante i hora en el fondo de un cilindro de altura especificada. Esta cantidad puede ser medida volumétricamente, la cual se realiza en un cono de Imhoff, siendo muy conveniente para el control de la operación de plantas de tratamiento. Esta determinación puede dar una idea de la cantidad de sólidos que pueden ser removidos a través de los procesos ordinarios de sedimentación simple.

Aplicando los procedimientos ya citados para los sólidos fijos y volátiles, es posible determinar éstos para los sólidos sedimentables; ya que esta determinación nos permite estimar, aproximadamente, el porcentaje de materia orgánica separable mediante sedimentación primaria; y en forma aproximada, el porcentaje de remoción de demanda bioquímica de oxígeno obtenida con

esa operación.

- b. Los sólidos coloidales (de 1 a 0.001 micras de diámetro) pueden ser removidos con la aplicación de sustancias coagulantes que neutralicen las cargas o potenciales eléctricos, permitiendo la aglutinación al flocular y su posterior precipitación por acción de la gravedad.
- c. Los sólidos disueltos (dispersión homogénea, molecular o iónica de 0.001 a 0.0002 micras de diámetro) pueden ser parcialmente removidos, o transformados, mediante la acción biológica de los microorganismos que las utilizan como sustrato en su mecanismo metabólico.

7. Acidez - La determinación de la acidez en aguas residuales puede ser de interés cuando han recibido residuos ácidos (generalmente de origen industrial) o aguas de escurrimiento provenientes de áreas mineras. Esto con el objeto de prever y conocer la influencia que ejerce este parámetro en los procesos biológicos utilizados en el campo del tratamiento de las aguas residuales, sensibles a aquellos valores que se apartan de los normalmente reportados para tales aguas.

8. Alcalinidad - En aguas residuales, es generalmente mayor que los valores de las aguas de donde provienen. Además, presuponen la descarga de desechos industriales fuertemente alcalinos, lo cual es de interés para el control de la descarga, o una neutralización parcial o total, según el caso lo requiera.

9. pH - Cuando se conoce la existencia de descargas de aguas residuales industriales en el sistema, permite predecir el comportamiento esperado por ese líquido residual cuando es sometido a tratamiento; además, nos da la oportunidad de exigir, en un momento dado, una neutralización de las descargas industriales que provocan dicho fenómeno.

Este análisis puede reemplazar a los de acidez y alcalinidad, sobre todo cuando no se prevé la aplicación de tratamientos químicos en el proceso de acondicionamiento de las aguas residuales.

10. Cloruros - En la forma del ión Cl^- es uno de los aniones mayormente presentes en las aguas residuales. ya que proviene de una de las sales más frecuentemente utilizadas en la dieta del hombre (cloruro de sodio) y porque aparecen en muchas ocasiones en lugares cercanos al mar. Su presencia puede indicar información adicional sobre la mayor o menor concentración del agua residual, y en las fuentes de agua puede constituir un índice indicativo del mayor o menor grado de contaminación.
11. Sulfuros - Cuando son determinados en los líquidos cloacales, nos permiten conocer acerca de las siguientes formas significativas: sulfuros totales (H_2S , HS^- , sulfuros metálicos solubles en ácido), sulfuros disueltos (remanentes después que los sólidos suspendidos han sido removidos por floculación y decantación) e hidrógeno sulfurado no ionizado (calculado con la concentración de sulfuros solubles y el pH de las muestras). Esta

determinación puede ser de interés para conocer sobre el comportamiento del líquido residual y sobre su mayor o menor grado de septización.

12. Nitrógeno - La determinación del nitrógeno en sus distintas formas (nitrógeno orgánico, amoniacal, nitritos y nitratos) en aguas residuales, es de particular interés en el tratamiento de las mismas. Así:

a. En los afluentes de las plantas de tratamiento con el objeto de conocer su concentración y poder estimar el grado de transformación que sufren a través de las distintas etapas del acondicionamiento. También para conocer si su concentración es capaz de satisfacer los requerimientos mínimos normalmente reportados para este elemento, para la actividad metabólica de los microorganismos responsables de las transformaciones que se operan en la materia orgánica presente en esas aguas.

b. En los efluentes de las plantas de tratamiento, con el objeto de conocer el grado de transformación que puedan tener los líquidos tratados, y para predecir, de acuerdo al estado y concentración de los compuestos nitrogenados, el grado de eutricación a que puedan estar sometidos los receptores finales.

13. Fosfatos - Pequeñas concentraciones de fosfatos, presentes en los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, incrementan la tendencia de las aguas receptoras, a permitir una

proliferación de algas que más tarde puedan interferir con la calidad de esas aguas y con su comportamiento, al ser tratadas para usos relacionados con el abastecimiento.

14. Oxígeno Disuelto El O.D. en las aguas residuales, puede indicar el grado de frescura o ranciedad de estas aguas, como también la necesidad de preverles o no de facilidades para un adecuado control de sus olores. Indica también:

- El estado de septización y potencialidad de las aguas residuales en producir malos olores.
- La calidad de las aguas receptoras en aceptar o no determinadas formas de vida acuática necesarias para mantener un equilibrio ecológico del sistema y como fuentes productoras de alimentos.
- Para estimar la actividad fotosintética de las masas hídricas.
- Estimar el grado de autopurificación de un curso de agua o afluente residual.

15. Demanda Bioquímica de Oxígeno La D.B.O., en conjunto con la demanda química de oxígeno, es capaz de evaluar la materia responsable de la contaminación de las aguas naturales en forma más exacta, que la que se obtiene a través de la determinación de los sólidos totales contenidos en aguas residuales.

Se define D.B.O. como la cantidad de oxígeno requerida para la respiración de los microorganismos responsables de la estabilización (oxidación) de la materia orgánica a través de su actividad metabólica en medio aeróbico.

La D.B.O. representa indirectamente una medida de la concentración de materia orgánica biodegradable contenida en las aguas. Como consecuencia de una actividad biológica, la D.B.O. está influenciada, principalmente, por los factores de tiempo y temperatura.

La D.B.O. puede y es usada frecuentemente para conocer el poder contaminante de las aguas residuales. Indica los requerimientos de oxígeno molecular que las aguas deben suplir para que la descomposición pueda llevarse a cabo bajo condiciones aerobias.

La D.B.O., es a la vez, el parámetro más utilizado para evaluar la eficiencia de los tratamientos que se aplican a los líquidos residuales. Cualquier reducción de su contenido presupone una transformación parcial de la materia orgánica presente en las aguas residuales y, en consecuencia, una reducción de su poder contaminante.

16. Demanda Química de Oxígeno La D.Q.O. es un parámetro que abarca más allá que la D.B.O. porque reúne tanto a los compuestos carbonosos putrecibles o degradables, como a aquellos compuestos que no sufren degradación por acción microbiana.

La D.Q.O. está basada en el hecho de que todos los compuestos orgánicos pueden ser transformados mediante la oxidación (con raras excepciones) en dióxido de carbono y agua, mediante la acción, en medio ácido, de agentes fuertemente oxidantes.

Por esto, los valores de la D.Q.O. son mayores a los correspondientes de la D.B.O. de la muestra, y están en proporción a la mayor o menor cantidad de materia orgánica biológicamente resistente a ser oxidada.

17. Aceites y Grasas - La determinación de grasas es de interés cuando nos ocupamos del tratamiento de aguas residuales (domésticas e industriales), en especial los relativos al acondicionamiento y disposición de los lodos separados durante el proceso. Es de mayor interés conocer el contenido de aceites y grasas del líquido residual crudo, sedimentado y final, para estimar la eficiencia de los sedimentadores y de los tratamientos secundarios.

Se determina también, en los lodos crudos y digeridos, para conocer sobre el porcentaje de destrucción de las grasas en el proceso de digestión anaerobia de los lodos.

18. Organismos Vivientes - De acuerdo a la composición de las aguas residuales y a su mayor o menor concentración, pueden aparecer asociados con ellas una gran variedad de organismos vivientes.

En primer lugar, la serie de organismos responsables de la existencia de enfermedades de

origen hídrico: fiebre tifoidea y paratifoidea, cólera, disentería colibacilar y amibiana; poliomiелitis y hepatitis infecciosa. La enorme cantidad de huevos y estados larvarios asociados con las heces y orina evacuados por el organismo humano y otros animales superiores, tales como los huevos de gusanos (Ascaris, Trichuris, Oxyuris y Taenia). Nemátodes y trematodes; algas y hongos; protozoarios, rotíferos y crustáceos inferiores; larvas de insectos y peces.

Dentro de esa gama de organismos, tienen especial interés las bacterias, algas, protozoarios y otras formas inferiores, por su actividad metabólica (oxidación) de la variedad de complejos orgánicos presentes en los líquidos usados. Tal es el caso de los tratamientos biológicos (aerobios y anaerobios) utilizando biomasa en los procesos clásicos del acondicionamiento de las aguas residuales domésticas e industriales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- (1) RIVAS MIJARES, Gustavo. "Tratamientos del Agua Residual". Biblioteca de la Acedemia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. Venezuela. 1967.

CAPITULO III

CONCEPTOS BASICOS RELACIONADOS
A LA FILTRACION DIRECTA
DE FLUJO ASCENDENTE

CONCEPTOS RELACIONADOS A LA FILTRACION
DIRECTA DE FLUJO ASCENDENTE

La filtración de aguas consiste en hacerlas pasar a través de sustancias porosas capaces de retener o remover algunas de sus impurezas. Para grandes cantidades de agua, la arena es el material generalmente empleado como medio filtrante por ser de bajo costo y satisfactoriamente eficiente.

Con el paso del agua a través de un lecho de arena, se produce una remoción de materiales en suspensión y sustancias coloidales, alterándose las características del agua, inclusive químicas y se reduce sustancialmente el mínimo de microorganismos presentes.

3.1. INTRODUCCION A LA SOLUCION

En este capítulo se desarrollará la alternativa escogida, que es la filtración directa de flujo ascendente. Para lo cual es necesario tener en cuenta todos los conceptos y procesos que intervienen en este tipo de tratamiento.

3.1.1. Breve reseña histórica de la filtración ⁽¹⁾

- Los filtros inicialmente tuvieron un uso doméstico.
- Por mucho tiempo fueron utilizados los filtros de piedra porosa en tinajeros.
- En Francia se difundieron mucho en el siglo XVIII y XIX los filtros de esponja, paños, lana y otros materiales.

- Cuando se hicieron los primeros filtros no domésticos, el agua filtrada no se distribuía por tuberías, sino se vendía por galones al consumidor.

- Así surgieron las primeras Compañías de agua que fueron de carácter privado. A partir de 1856, en Francia aparecieron los filtros a presión: "Fonvielle" y "Souchon". Los primeros estaban constituidos por un cono truncado de hierro fundido con tapa semiesférica, en el cual había 0.70 m. de lecho filtrante compuesto de 0.25 m. de esponjas marinas, 0.25 m. de piedra caliza y 0.20 m. de arena de río. Se lavaban extrayendo el material filtrante. Los segundos estaban constituidos por tres lechos de paño de 0.20 m. de espesor. El objeto de estos filtros era de colar los sedimentos del agua.

- En Inglaterra (Faisley - Escocia) en 1804, es donde por primera vez se pensó en hacer una instalación de filtros para toda una población.

- En 1829, en Londres (Chelsea) se construyó la primera planta de filtros lentos de arena.

- A medida que la demanda de agua filtrada aumentaba, se fue estudiando más a fondo el trabajo de los filtros y se halló, que ellos no sólo hacían un proceso de cribado sino que también transformaban la materia orgánica.

- Se formaron dos escuelas: los que creían en la filtración de arriba hacia abajo (descendente) y los que creían en la de abajo hacia arriba (ascendente). Los primeros alegaban que al filtrar hacia abajo, la mayoría de la materia suspendida quedaba retenida en las primeras capas del lecho, lo que facilitaba la limpieza del filtro, pues bastaba raspar esas capas (procedimiento que todavía se usa en los filtros lentos). Los segundos decían que al filtrar hacia arriba a través de material cada vez más fino, la gravedad producía el asentamiento de la mayoría de las partículas en el fondo del filtro, y las restantes que alcanzaran a subir, podrían ser fácilmente lavadas invirtiendo el sentido del flujo. Lentamente se impuso la primera escuela (Filtración Descendente) y el uso de los filtros lentos de arena se popularizó tanto en Europa como en América.

- Con el advenimiento de la Microbiología, nacida a mediados del siglo XIX (L. Pasteur, 1822-1895), se le fue dando cada vez mayor importancia al aspecto bacteriológico de la filtración, y ya a fines de dicho siglo muchas ciudades tanto del viejo como del nuevo mundo habían construido plantas de filtración.

- El mejor conocimiento del proceso condujo al diseño de los filtros rápidos, que aparecieron en Norteamérica a mediados del siglo pasado, bajo patente. Se les llamó filtros mecánicos o americanos en

contraposición a los "filtros ingleses" que eran los lentos.

- La gran innovación de los filtros rápidos fue en la limpieza del lecho filtrante, pues en lugar de hacerse raspando la capa superior del mismo que era un sistema largo y costoso, se hacía invirtiendo el sentido del flujo, que en el proceso de filtrado era de arriba hacia abajo y en el de lavado de abajo hacia arriba, con lo cual se eliminaban las impurezas que habían quedado retenidas en el lecho. Esto facilitaba la operación casi continua del filtro y permitía el uso de cargas superficiales considerablemente mayores (aproximadamente 30 veces más) que la de los filtros lentos.
- El primer filtro "mecánico o rápido" lo construyó en los Estados Unidos, en la ciudad de Somerville en 1855, I. Smith Hyatt (1835 - 1885), quién había obtenido patente el año anterior para un sistema de "coagulación-filtración". Hyatt no usaba todavía el sulfato de aluminio sino coagulantes férricos, los cuales inyectaba antes de que el flujo entrara al filtro, para formar una capa de material coagulado en la superficie del mismo.
- Este sistema pasó a Bélgica, Alemania y Francia y pronto surgieron varias compañías que obtuvieron patentes para sus respectivos diseños.

- El mayor inconveniente que tenían era que por falta de un sistema de sedimentación adecuado, los filtros se tapaban con demasiada frecuencia cuando la turbiedad afluyente era muy alta, lo que obligaba a gastar mucha agua en el lavado.
- Por esta razón en la planta de tratamiento de Lousville (Holanda - 1898) y Little Fall (Estados Unidos) más tarde, se introdujeron sistemas de mezcla, coagulación y sedimentación en tanques separados, a fin de remover la mayoría de las partículas sedimentables antes de que llegaran a los filtros. Esta última planta tenía una capacidad de 0.34 mgd. (18 lt/seg.) y su funcionamiento fue mucho más eficiente. Sus lineamientos generales coinciden con los diseños del presente.
- Fue así como a partir de los filtros como proceso único de tratamiento, se fueron creando las plantas de potabilización modernas, en las que todos los tratamientos son preparatorios o complementarios de la filtración.
- En los últimos sesenta años, tanto la teoría como la práctica de la filtración, se han venido desarrollando notablemente, pero sin que se le hayan hecho modificaciones sustanciales al proceso inicial.

3.1.2. Breve reseña histórica sobre la filtración directa de flujo ascendente ⁽²⁾

- Existen referencias de instalaciones construídas en Francia e Inglaterra, inclusive una patente dada en 1791, cuya única aplicación conocida fue utilizada en tres navíos de la marina británica.
- En 1827 se registró la primera instalación municipal, en la ciudad de Grenock (Escocia), siendo las tasas de filtración semejantes a la de los filtros lentos, pudiendo funcionar en ambos sentidos.
- En 1832 fue hecho el primer ensayo con filtración ascendente en los Estados Unidos, en Richmond. No tuvo éxito debido a la alta turbiedad del agua a ser tratada. Los filtros fueron abandonados en 1835.
- A partir de la segunda mitad de este siglo, el empleo de la filtración ascendente fue difundida por diversos países, en Europa y América, teniendo mayor destaque Holanda y la Unión Soviética.
- En Brasil, la primera experiencia fue realizada en la ciudad de Colatina, donde la filtración de flujo ascendente recibía, tanto agua coagulada como decantada. Sólo a partir de 1977, se comenzaron a realizar los primeros trabajos científicos sobre la filtración directa ascendente, en la Escuela de Ingeniería de San Carlos, cuyo objetivo era estudiar los aspectos teóricos y prácticos de la tecnología en cuestión.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) ARBOLEDA, Jorge. "Teoría, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del Agua". OMS - Organización Panamericana de la Salud. Lima - Perú. 1973.

- (2) DI BERNARDO, Luis. "Filtración Directa Ascendente". CETESB. Brasil. 1982.

3.2. TEORIA SOBRE COLOIDES.

Se denominan "coloides", a las partículas que se encuentran dispersas en el agua y que por su tamaño tan pequeño, no sedimentan en forma natural. Los coloides están constituidos, por lo general, por partículas de arcilla muy fina, cuyo tamaño oscila entre 10^3 y 1 micra (u).

3.2.1. Clasificación de los coloides

Los sistemas coloidales pueden ser clasificados, según:

a. Su tamaño:

- Coloides moleculares, están constituidos por sustancias polímeras, formadas por largas cadenas orgánicas, con pesos moleculares muy grandes (15000 a 100000) y tamaño entre 10^1 y $5 \cdot 10^1$ u. de longitud por $2 \cdot 10^{-4}$ y 10^{-3} u. de grosor.
- Coloides micelares, pueden formarse por asociación de moléculas más pequeñas de minerales (como el oro) o compuestos orgánicos (como jabones y detergentes), que espontáneamente se aglutinan en presencia de un líquido en partículas de tamaño coloidal.

b. Su atracción al agua:

- Coloides liofílicos, están constituidos por las dispersiones moleculares de sustancias poliméricas o sustancias aglutinadas en tamaño coloidal, que tienen una fuerte

atracción por el solvente, y reaccionan químicamente con el agua en la cual están dispersados (como jabones). Su estabilidad depende de la capa de hidratación que los rodea, en la cual hay moléculas de agua adheridas que actúan como barrera que impide el contacto entre las partículas.

- Coloides liofóbicos, están, en cambio, formados por sustancias insolubles en el dispersante (como arcillas y metales) y por lo mismo son mucho más inestables que los liofílicos.

. El tiempo de aglutinación:

- Coloides diuturnos, son aquellos que no se modifican o se aglutinan durante mucho tiempo, comparado con el período de observación.
 - Coloides caducos, son, al contrario, los transitorios que se aglutinan y/o cambian rápidamente.
- d. Los coloides, además, pueden ser orgánicos como las proteínas o las grasas, o inorgánicos como el oro o las arcillas minerales.

3.2.2. Forma de los coloides

La forma de los coloides se ha clasificado en:

- Isométricos, que tienen la mismas dimensiones en todas las direcciones, tales como esferas y poliedros.
- Anisométricos, que se extienden preferentemente en una o dos dimensiones, tales como: cilíndricos, láminas, cintas, etc.

La forma de los coloides tiene relación directa con sus propiedades; ya que en un líquido turbulento, las formas filamentosas o cilíndricas tienen más oportunidad de contacto que las formas esféricas o poliédricas, lo cual influye en la posibilidad de aglutinación de las partículas.

3.2.3. Propiedades de los coloides

Entre las propiedades de los coloides, las más importantes son:

- . Propiedades Cinéticas:
 - Movimiento Browniano, es una de las propiedades que más distingue a las dispersiones coloidales, ya que no pueden sedimentar, aún cuando las partículas sean más densas que el líquido que las rodea. Si una suspensión de estas es observada en el ultramicroscopio, se puede notar entre ellas un movimiento constante y desordenado. Este fenómeno fué estudiado por primera vez en una suspensión de granos de polen por el inglés Brown en 1828, de donde ha recibido el nombre

de movimiento browniano. Weiner, en 1863, sugirió que el bombardeo de las partículas hecho por las moléculas del líquido en el cual están dispersas, esa es la causa del movimiento incesante de ellos, teoría que ha sido demostrada con el paso del tiempo.

- Difusión, producida por el movimiento browniano, haciendo que las partículas se distribuyan uniformemente por todo el solvente.

- Presión Osmótica; debido al movimiento, si la concentración de partículas en un líquido no es uniforme, se produce un flujo de material desde las zonas de alta concentración hacia las de baja concentración hasta alcanzar un equilibrio. Esta es la razón por la cual si se introduce una celda, hecha de una membrana semipermeable que contenga cierta dispersión coloidal en un líquido puro, éste trata de introducirse dentro de ella para establecer una concentración uniforme, diluyendo la dispersión coloidal y produciendo una elevación del líquido dentro de la celda. El incremento de volumen produce una presión denominada presión osmótica.

b. Propiedades Ópticas:

- Diseminación de la luz: un rayo de luz es diseminado al pasar a través de una suspensión coloidal. La diseminación es proporcional al tamaño de las partículas. Cuando se usa un rayo bien definido se puede observar claramente un cono de luz. A este

fenómeno se le suele llamar efecto de Tyndal-Faraday y se le puede observar en la vida diaria cuando un rayo de luz penetra una habitación oscura donde flotan partículas de polvo.

La diseminación hace aparecer las soluciones turbias. La turbiedad es por tanto una forma de medir la concentración de partículas coloidales en un líquido.

- Opalescencia; los coloides son incoloros, sin embargo, las suspensiones coloidales aparecen con una cierta coloración. Por ejemplo, la suspensión de hidróxido férrico es roja. Esto puede deberse a la diseminación de la luz o a la adsorción selectiva por el coloide de una cierta longitud de onda. Es por eso que la coloración puede usarse para medir la concentración de los coloides.

c. Propiedades de Superficie:

Cuando la materia se subdivide hasta llegar al tamaño coloidal se produce un gran incremento del área. Esta enorme superficie tiene la tendencia a adsorber, en la interfase sólida-líquida, moléculas, iones o coloides. La capacidad de adsorción de las superficies es una de sus principales propiedades.

Este fenómeno es exotérmico, es decir, libera energía térmica; hecho que favorece el movimiento browniano, la difusión y la presión osmótica.

d. Propiedades Electrocinéticas:

Se ha observado que las partículas de una dispersión coloidal, se mueven de un polo de determinado signo a otro, al estar sometidas a un campo eléctrico, lo que demuestra que poseen carga electrostática. Esta carga primaria se debe a tres causas principales:

- Reemplazo Isomórfico: es posible que la estructura de los cristales que forman las arcillas tengan alguna imperfección. Dichas imperfecciones pueden originar el reemplazo de un átomo de mayor valencia por uno de menor valencia o viceversa, creando así una carga eléctrica en la partícula.
- Ionización; muchos coloides naturales contienen en la superficie grupos químicos (carboxilos, hidróxidos, etc.) que pueden ionizarse dando origen a cargas eléctricas.
- Adsorción Preferencial; los coloides pueden cargarse también por adsorción preferencial de iones en la superficie. Este fenómeno puede deberse a fuerzas químicas o fuerzas eléctricas.
- Fuerzas que intervienen; esta carga primaria de los coloides produce una fuerza repulsiva, que impide la aglomeración o coagulación de las partículas, cuando estas se acercan unas a otras. Por tanto, es necesario tener en cuenta lo siguiente:

1. Las fuerzas coulombicas de repulsión se desarrollan cuando dos partículas de igual signo se aproximan. Su intensidad está controlada por las características tanto de la fase acuosa como de la fase sólida.
2. Las fuerzas de Van der Waals se deben a múltiples causas, una de las cuales se ha atribuido al movimiento continuo de los electrones en sus órbitas, el cual crea un campo magnético que fluctúa constantemente en forma bastante compleja y ejerce influencia sobre los electrones de la materia circundante, dando origen a fuerzas que son siempre atractivas y que pueden existir entre partículas de carga opuesta, entre partículas neutras y entre partículas con la misma carga.

Dicha fuerza es relativamente débil, ya que decrece en proporción a la 7ma. potencia de su distancia y, en consecuencia, rara vez es efectiva a más de 10^6 mm. Su magnitud es independiente de la carga neta de los coloides y no varía ni con el pH ni con otras características de la fase acuosa.

Las fuerzas de Van der Waals son responsables de la adsorción de moléculas o iones en las partículas coloidales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) ARBOLEDA, Jorge. "Teoría, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del Agua". OMS - Organización Panamericana de la Salud. Lima - Perú. 1973.

3.3. TEORIA SOBRE COAGULANTES, MEZCLA RAPIDA Y FLOCULACION

La coagulación o mezcla rápida es el proceso por el cual se agrega al agua a tratar, un compuesto químico, denominado coagulante, el cual va a proporcionar cargas eléctricas que neutralicen las cargas presentes en el sistema coloidal, produciendo la desestabilización de los sólidos suspendidos y favoreciendo que se unan para formar pequeñas masas con peso específico superior al del agua, denominadas "flóculos", los cuales puedan ser removidos por sedimentación y/o filtración.

3.3.1. Los Coagulantes

Existe una gran variedad de compuestos que pueden ser utilizados como coagulantes, desde sales minerales hasta compuestos naturales extraídos de algunas plantas.

Los coagulantes más comunes son las sales metálicas y los denominados polieléctrolitos o polímeros. Los primeros tales como: el sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y el cloruro férrico ($FeCl_3$) son los más usados y casi siempre son los que se denominan "Coagulantes Primarios", ya que son los que se dosifican en mayor cantidad. Los polímeros son compuestos sintetizados, los que poseen un peso molecular muy grande, y son utilizados como "Ayudantes de la Coagulación" para mejorar la eficiencia de los primeros; siendo utilizados en nuestro medio los coagulantes catiónicos, como el

CAT-FLOC.

3.3.2. Aspectos físicos de la coagulación

La coagulación comienza en el mismo instante en que se agregan los coagulantes al agua y dura sólo fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas, entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma.

Dos modelos explican este proceso: el de la doble capa, basado en las fuerzas electrostáticas de atracción y repulsión, y el del puente químico que establece una relación de dependencia entre las fuerzas químicas y la superficie de los coloides.

a. Modelo Físico (doble capa).

Este modelo explica la coagulación del agua teniendo en cuenta las fuerzas electrostáticas existentes en las partículas, considerándolas rodeadas de una doble capa eléctrica que interacciona con la fase acuosa. En 1924, Stern presentó una teoría con la cual trataba de explicar este efecto, en la que mostró que era necesario aceptar la posibilidad de la coexistencia de las teorías de Helmholtz y las de Gouy, considerando la formación de una capa adherida y una capa difusa alrededor del coloide; siendo dichas capas denominadas como capa de Stern y capa de Gouy-Chapman, respectivamente.

En un coloide se distingue, básicamente, los siguientes potenciales:

- El potencial ψ que existe en la superficie del coloide, o potencial de Nernst; el cual cae rápidamente en la capa adherida y lentamente en la capa difusa.
- El potencial ϕ que existe en la superficie interior de la doble capa, donde empieza la parte difusa; denominado también potencial de Stern.
- El potencial τ que existe en el plano de cizalla (denominado así al plano que separa del resto de la dispersión la sección de la capa que se mueve con la partícula formando parte integral de ella; y está situado en algún punto, entre la superficie interior y la superficie exterior de la doble capa) y que es el que vamos a ver con más detalle, por su importancia en la coagulación. Es denominado también potencial zeta.

En el gráfico 3.3.1. se puede observar los potenciales que afectan al coloide; así también se puede ver la acción de las fuerzas de repulsión y atracción, las cuales producen una fuerza resultante que es la línea marcada por puntos. Esta resultante tiene una cresta que es llamada "barrera de energía". Para que un coloide se aglutine con otros, es necesario que la partícula se aproxime a una distancia menor que la que existe entre el centro del coloide y la barrera de energía. Para que el coloide pueda alcanzar dicha

distancia es necesario que el potencial zeta baje hasta un punto llamado "punto isoeléctrico" (cuando este es igual a cero), lo que sucede si:

- Se neutraliza la carga q , ya sea: (a) Por cambio de la concentración de los iones que determinan el potencial del coloide. (b) Por la adsorción de iones que posean una carga opuesta a las de los iones determinantes del potencial, y que sean capaces de reemplazar a éstos en la capa de Stern.
- Por compresión de la doble capa, incrementando la concentración del electrólito se incorporan iones contrarios en la capa difusa, con lo cual ésta se comprime y disminuye la magnitud de las fuerzas repulsivas, permitiendo la eliminación de la barrera de energía. Se ha encontrado que un ión bivalente es de 30 a 60 veces más efectivo que un ión monovalente; y un ión trivalente, de 700 a 1000 veces más efectivo que un ión monovalente.

Del modelo físico de la coagulación, se deducen los siguientes principios:

- Existe una concentración crítica de coagulación que debiera alcanzarse cuando los coloides disminuyen su potencial hasta alcanzar el punto isoeléctrico.
- La concentración crítica de coagulación debe ser independiente de la cantidad de turbiedad en el agua.

- El exceso de coagulantes agregados al agua, no puede producir inestabilización de las partículas, por cuanto los coloides no adsorben más iones contrarios de lo que su carga primaria lo permite.

Se ha observado, sin embargo, que la concentración crítica de coagulación se alcanza con valores cercanos al punto isoeléctrico como regla general, pero no necesariamente cuando el potencial zeta es cero, lo cual contradice el punto "a". Por otro lado, a mayor turbiedad, aunque no siempre, se requiere mayor cantidad de coagulantes, esto contradice el punto "b". Asimismo, si se agrega un exceso de coagulantes, la coagulación no se efectúa o se realiza pobremente porque los coloides pueden reestabilizarse, lo que contradice el punto "c". El modelo físico de la coagulación, por tanto, no podría explicar la totalidad del fenómeno. Algunos autores han recurrido por eso a un modelo químico para complementarlo.

b. Modelo Químico.

Este modelo considera que la carga primaria de las partículas coloidales se debe a la ionización directa de los grupos químicos presentes en la superficie de ellas, tales como hidróxilos, carboxilos, fosfatos, o sulfatos; y, que la precipitación de los coloides se realiza por reacción de estos grupos con los iones metálicos polivalentes agregados con los coagulantes.

Según esto, el efecto desestabilizante de ciertos iones se interpreta más en términos de interacción química que exclusivamente en términos de adsorción de iones contrarios en la doble capa, como en el modelo físico.

La repulsión electrostática puede disminuir, pero no necesariamente eliminar la adsorción de un ión en la superficie de un electrodo que tiene una carga similar. De donde se deduce que la contribución química de la adsorción de iones, puede ser mayor, a veces, que la contribución electrostática.

Por otra parte, la desestabilización de los coloides, producida por los compuestos poliméricos que se forman en la coagulación o por polímeros como los polielectrolitos, no puede explicarse con el modelo de la doble capa.

3.3.3. Fases de la Coagulación

Se puede considerar la coagulación desarrollándose en cinco fases consecutivas o simultáneas que implicarían reacciones químicas y físicas. Así:

1ra. Fase - Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas existentes en la suspensión.

2da. Fase Precipitación y formación de compuestos químicos que se polimerizan.

3ra. Fase Adsorción de las cadenas poliméricas en la superficie de los coloides.

4ta. Fase - Adsorción mutua entre coloides.

5ta. Fase Acción de barrido (no recomendable en la filtración directa)

Al agregar un coagulante al agua, éste se hidroliza (reacciona con las moléculas del agua) y puede producir la desestabilización de las partículas, por simple adsorción específica de los productos de hidrólisis (generalmente con carga positiva), en la doble capa que rodea a los coloides negativamente cargados (compresión de la doble capa o neutralización de las cargas), o por interacción química con los grupos ionizables de su superficie (1ra. Fase).

Por otro lado, como los productos de la hidrólisis de los coagulantes, sufren reacciones de polimerización (se enlazan unos con otros para formar grandes moléculas), se transforman en largas cadenas tridimensionales con extremos activos (2da. Fase).

Estas cadenas pueden ser fácilmente adsorbidas en los sitios vacantes de adsorción de los coloides existentes en la suspensión, dejando los extremos extendidos en el agua (3ra. Fase).

Dichos extremos pueden adherirse a otros coloides que tengan sitios vacantes también,

formando así masas esponjosas de partículas de la suspensión ligadas por cadenas poliméricas (4ta. Fase).

Al sedimentar, estos coágulos hacen un efecto de barrido (5ta. Fase), atrapando en su caída nuevas partículas que se incorporan a los microflóculos en formación.

El gráfico 3.3.2. presenta en forma esquemática las cinco fases descritas.

3.3.4. Parámetros Analizados en la Coagulación

Es necesario conocer ciertos parámetros que nos van a permitir realizar un proceso de coagulación eficiente, lo cual debe ser realizado mediante prácticas en el laboratorio. El desarrollo de estos trabajos se explicará más adelante en la parte experimental, pero es necesario saber la importancia de los parámetros, que son:

- a. Temperatura - A mayor temperatura, mayor será el movimiento de los coloides, y mayor la posibilidad de que las partículas choquen unas con otras. Se recomienda que la coagulación se realice siempre por encima de los 4 °C.
- b. Dosi Es la cantidad de coagulante necesaria para alcanzar la mayor remoción posible de turbiedad en determinada agua. La cantidad de coagulante que se debe aplicar resulta proporcional a la concentración de turbiedad presente en el

agua a tratar, sin embargo cantidades mayores pueden producir una reestabilización de las partículas y generar nuevamente la turbiedad en el agua, debido a que el coagulante va a reaccionar entre sí y no con los coloides. Aquí la importancia de encontrar en el laboratorio las dosis óptima del coagulante.

- c. Concentración óptima de coagulación - La concentración determina la cantidad de agua en la que va a ser puesto en solución el coagulante, para luego ser aplicado al agua a tratar. Cuando la concentración del coagulante es alta, el volumen en el que esté disuelto será pequeño, haciendo difícil que un volumen tan pequeño pueda dispersarse homogéneamente en un tiempo corto, en toda la masa de agua a tratar. En cambio, cuando la concentración del coagulante es baja, el volumen de la solución es grande, lo cual puede ocasionar que no se generen homogéneamente los productos de hidrólisis del coagulante en el agua en un tiempo corto.
- d. pH óptimo - El pH depende directamente de la alcalinidad del agua. Se recomienda, para remover color que el pH del agua esté en el rango de 4 - 6, y para remover turbiedad que el pH del agua esté en el rango de 6.5 - 8.5. La alcalinidad debe ser siempre mayor de 50 ppm. de CaCO_3 . Estos valores deben determinarse en el laboratorio para obtener la mayor eficiencia posible.

Es conveniente tener en cuenta, que cada tipo de agua a ser tratada rara vez coincide

con otra en los valores de dosis, concentración y pH óptimo, por lo que es necesario realizar dichos trabajos de laboratorio, si es que se desea obtener la mayor eficiencia posible en el proceso. Por otro lado, estos valores obtenidos en el laboratorio son hallados en condiciones bastante ideales por lo que en la práctica, es posible no lograr la remoción obtenida en el laboratorio.

e. Gradiente de velocidad y Tiempo de retención

- Como se ha mencionado, la mezcla rápida tiene por objeto dispersar el coagulante en un tiempo corto y en forma homogénea. Esto debido a que el coagulante reacciona en un tiempo muy corto con el agua, por lo que es necesario que el coagulante esté distribuido en toda la masa de agua antes de reaccionar con ella. Para que esto ocurra, es necesario que en el agua haya una fuerte turbulencia que favorezca el proceso. Por otro lado, la formación de los flóculos es casi inmediata, por lo que el tiempo de la mezcla rápida debe ser muy corto, ya que la turbulencia del agua puede causar que las partículas floculantes se rompan y se reestabilicen las partículas coloidales.

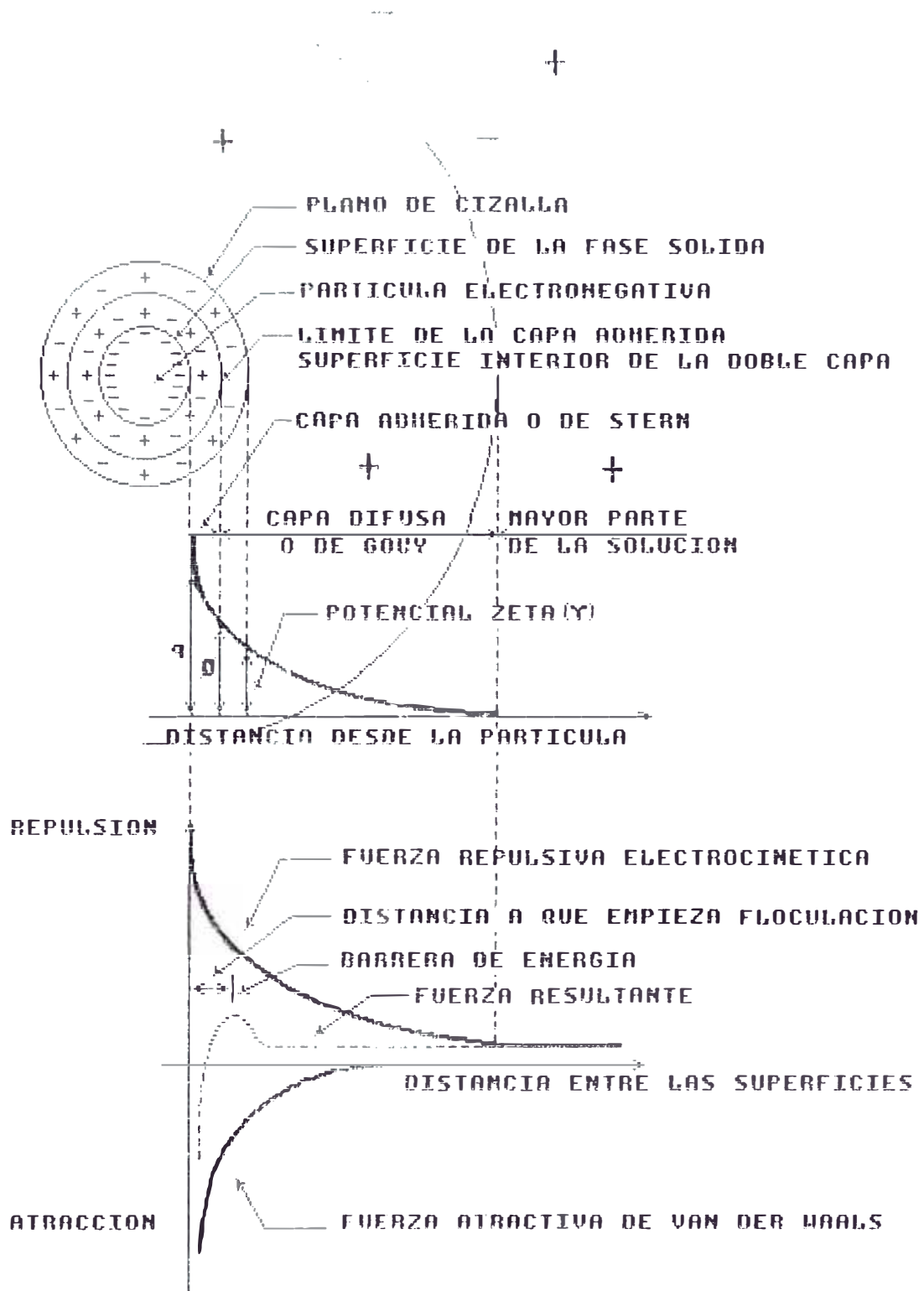
Es por eso que se desarrollaron los criterios de Gradiente de velocidad (seg^{-1}) y Tiempo de retención (seg.) los cuales cuantifican la turbulencia del agua al recibir el coagulante y el período de la mezcla rápida, respectivamente. Se recomienda, cuando se desea una coagulación

de tipo adsorción (utilizada en la filtración directa), que la gradiente de velocidad sea mayor a 1000 seg^{-1} . y que el tiempo de retención menor a 1 seg. La coagulación de tipo adsorción, bajo estas premisas, sólo es lograda utilizando dispositivos hidráulicos para la mezcla, tales como: Canaletas Parshall, canales de fondo inclinado y vertederos rectangulares.

En cambio, cuando la coagulación es del tipo de barrido, es permitido el uso de dispositivos mecánicos, en los cuales se trabaja con gradientes máximas de 800 seg^{-1} . y tiempos de retención de 15 a 30 seg., ya que con estos dispositivos es difícil de obtener tiempos de retención menores.

Para concluir, es necesario recalcar que en la medida que el proceso de coagulación sea mal realizada, los procesos que se desarrollan a continuación arrastrarán las deficiencias, haciendo que el tratamiento no sea óptimo.

G R A F I C O S



3.3.1. POTENCIALES Y FUERZAS GENERADAS EN UNA PARTICULA COLOIDAL. (1)

AGUA CON ALTA CONCENTRACION DE PARTICULAS COLOIDALES

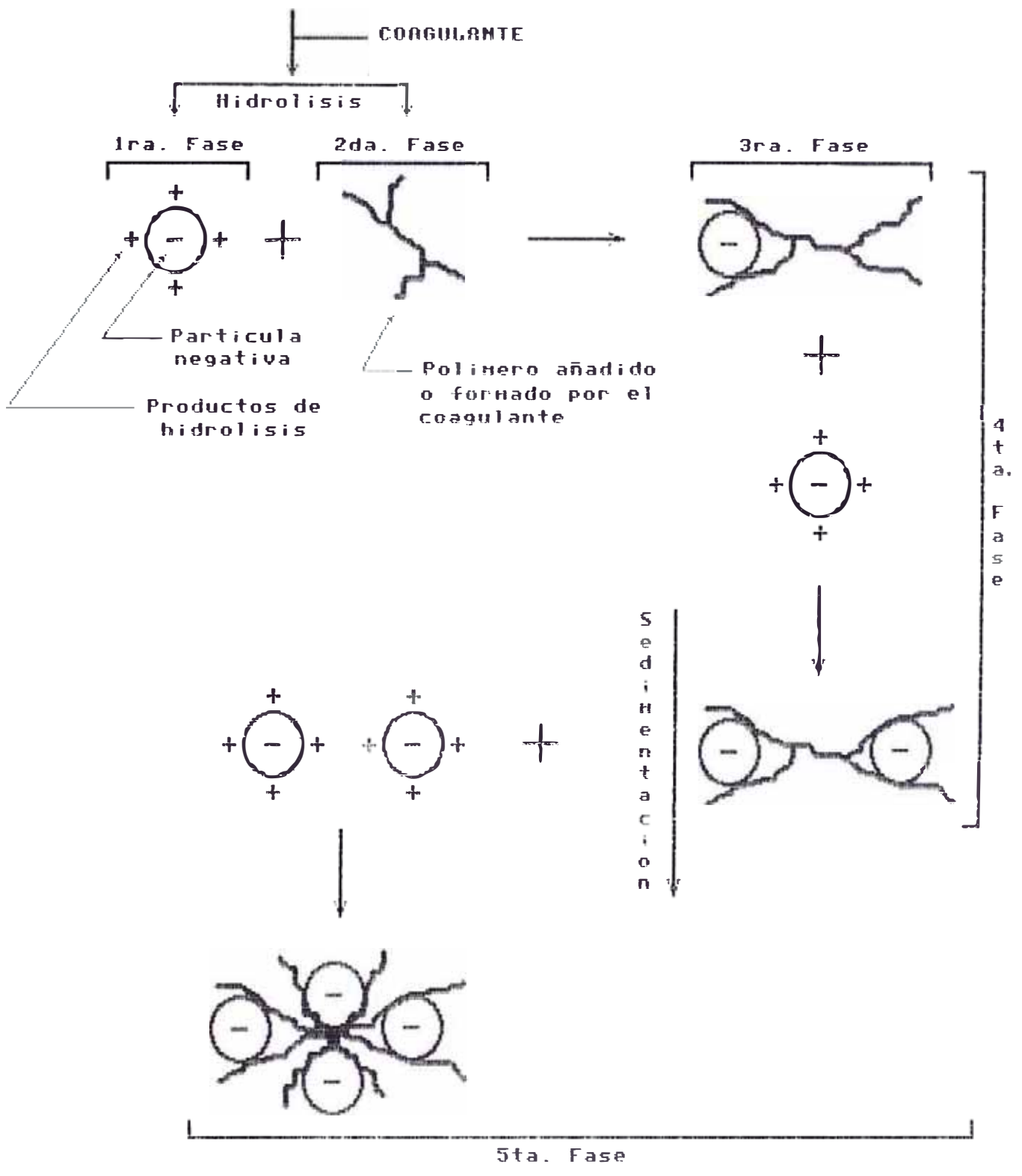


GRAFICO 3.3.2. MODELO ESQUEMATICO DEL PROCESO DE COAGULACION (1)

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- (1) ARBOLEDA, Jorge. "Teoría, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del Agua". OMS - Organización Panamericana de la Salud. Lima - Perú. 1973.

3.4. TEORIA SOBRE FILTRACION

El agua superficial, ya sea sedimentada o no, que ingresa a un filtro, contiene una variedad muy grande de partículas en suspensión. Su tamaño puede variar desde flóculos relativamente grandes de 1 mm. de diámetro hasta coloides, bacterias y virus con tamaños inferiores a 10^3 mm. (1 u.) Dentro de esta gama, se puede encontrar partículas electropositivas, electronegativas y neutras, o microflóculos con polímeros adsorbidos. Todo este conjunto queda en mayor o menor proporción retenido en el lecho filtrante, preferentemente adherido a la superficie de sus granos, formando una película alrededor de ellos, cuya resistencia al esfuerzo cortante producido por la fuerza de arrastre del flujo, es función de la magnitud de las fuerzas que mantienen pegadas las partículas a cada elemento del medio granular. Si estas fuerzas son débiles, el flóculo será arrastrado por el flujo y penetrará cada vez más hondo en el medio filtrante hasta que eventualmente aparecerá en el efluente. Si las partículas son en cambio fuertes, el flóculo quedará retenido, obstaculizando el paso del agua, temporalmente.

3.4.1. Mecanismos de la filtración

Resulta de aquí, que el mecanismo que transporta la materia en suspensión dentro del lecho filtrante y lo adhiere con mayor o menor eficiencia a él, tiene que ser distinto según sea el tamaño de las partículas, su densidad y las características electroquímicas que posea. Así por ejemplo, el flóculo grande cuyo volumen es mayor que

el de los poros del medio granular, queda removido por simple cernido en los intersticios del lecho; en cambio las partículas de menor diámetro que los poros del medio filtrante, entran libremente en el material granular, y tienen que atravesar una distancia relativamente grande antes de poderse adherir a los granos que forman dichos poros. Por eso, el proceso de filtración, se puede considerar que ocurre en dos etapas distintas pero complementarias:

- La de transporte de las partículas dentro de los poros.
- La de adherencia a los granos del medio filtrante.

a. Transporte de las partículas

Los distintos mecanismos de transporte de las partículas dentro de los poros del medio filtrante están esquematizados en el gráfico 3.4.1. Lo cuales son:

- Cernido - Cuando la partícula es de tamaño mayor que los poros del lecho filtrante, puede quedar atrapado en los intersticios, cuyo tamaño suele variar entre 0.1 y 0.2 mm. para granos de 0.5 mm., y entre 0.3 y 0.6 mm. para los de 1.2 mm., dado que el flóculo grande puede tener de 0.5 a 2.0 mm. de diámetro. El cernido sólo actúa en las capas más superficiales de lecho y con partículas relativamente fuertes capaces de resistir los esfuerzos cortantes producidos por el flujo,

cuya velocidad aumenta en las contricciones.

Sedimentación Se ha demostrado que la remoción de partículas menores que el tamaño de los poros es debido a la sedimentación de ellas en la superficie de los granos, ya que esta superficie es muy grande. Se ha calculado que para arena seca de 0.35 mm. de diámetro, 1 m³. de ella, puede tener un área superficial de 8000 m². Como no toda esta área está en condiciones de recibir sedimentos, ya que una parte de ella no es útil por estar los granos en contacto unos con otros y otra parte por estar en puntos donde la velocidad del flujo es muy alta, la superficie aprovechable para la sedimentación se ha estimado que puede ser solamente un 5.56 % de la total, o sea unos 444 m³. por m³.

Aún aceptando un gran margen de error en estas cifras, es indudable que el medio filtrante ofrece una enorme área, donde los sólidos suspendidos pueden quedar depositados por sedimentación.

Sin embargo, este mecanismo no explica: por qué el filtro remueve el flóculo con un peso específico muy cercano al del agua, o partículas de tamaño coloidal como bacterias o virus cuya velocidad de sedimentación es del orden de milímetros por día, ni por qué la materia que ha sedimentado no es arrastrada de nuevo por el flujo, en especial teniendo en cuenta el aumento de velocidad en los intersticios.

Por eso, la sedimentación sólo puede producirse con material suspendido relativamente grande y denso cuya velocidad de asentamiento sea alta, y en zonas del lecho donde la carga hidráulica sea baja.

- Intercepción - Se ha llegado a la conclusión, de que la remoción del flóculo dentro del lecho es llevada a cabo primeramente por contacto de las partículas flóculantes con la superficie de los granos o con flóculos ya depositados o adheridos a ellos.

El proceso progresa en una serie de pasos:

1. Inicialmente el flóculo empieza a pegarse a la cara superior del grano, y a medida que mayor cantidad de materia se le adhiere va siendo recubierta con una película, inclusive hasta la cara inferior.
2. Esta película va creciendo con el tiempo, con lo que la velocidad del flujo intersticial aumenta al disminuirse el tamaño de las contricciones, de modo que un menor número de partículas puede adherirse a los granos inferiores y tiene que penetrar hasta las capas superiores (considerando flujo ascendente).
3. Al continuar la filtración, aparecen segmentos que cuelgan de los granos, los cuales eventualmente se rompen y son

retenidos más arriba por otros granos menos recubiertos.

4. Este proceso de arrastre de la película se hace cada vez mayor a medida que su espesor crece, con lo que la colmatación del medio filtrante progresa en profundidad.
5. Existe una marcada diferencia en la capacidad de adhesión de las partículas de flóculos. Las partículas débiles son arrastradas y reemplazadas por otras más fuertes. Sin embargo, cada suspensión tiene sus propias características peculiares. Pequeñas variaciones en el pH final, afecta la capacidad de adhesión y la resistencia de la película de flóculos al esfuerzo cortante.

Esta última observación no es compatible con el concepto de la intercepción directa. Si las partículas quedan retenidas por el simple estrechamiento de las líneas de flujo, la filtración será independiente de las características químicas de la suspensión. Por eso debe considerarse la existencia de otro tipo de fuerzas, que retengan la partícula adherida al medio filtrante.

- Impacto inercial - Cuando la velocidad del flujo es baja, la partícula viaja con las líneas de flujo. En cambio cuando la velocidad es alta y la partícula es grande, debe tenerse en cuenta los efectos de la inercia, los cuales hacen que aquella pueda

seguir una trayectoria distinta a la de las líneas de flujo, si adquiere suficiente cantidad de movimiento para eso. Esto implica que al pasar una suspensión alrededor de un obstáculo, mientras las líneas de flujo se curvan, las partículas pueden continuar con su trayectoria original, impulsadas por la fuerza de inercia, y chocar con el grano del filtro quedando adheridos a él.

En el caso de la filtración de suspensiones acuosas, la viscosidad del fluido hace difícil que la materia suspendida pueda adquirir suficiente cantidad de movimiento, como para que el impacto inercial sea de significación.

- Difusión - Debido al movimiento browniano, existe una tendencia de las partículas pequeñas a difundirse desde las áreas de mayor concentración a las áreas de menor concentración. Esta es la razón por la cual se puede encontrar sólidos adheridos a los granos del medio, en puntos, donde la velocidad del flujo es prácticamente cero. La eficiencia del filtro por difusión va a depender de la temperatura.

b. Adherencia de partículas

El que cada contacto resulte efectivo y produzca o no adhesión de la partícula al medio filtrante, podría pensarse que depende más que de mecanismos puramente físicos, sino de una serie de factores químicos y electroquímicos, la variación de los cuales

induce modificaciones en el comportamiento de los filtros. Los más importantes de ellos y que vamos a considerar son: las fuerzas de Van der Waals, los efectos electrostáticos y el puente químico.

Fuerzas de Van der Waals - Se ha sugerido que estas fuerzas son primariamente responsables de la adhesión de las partículas a los granos del filtro. Dentro de la distancia desde la superficie de cada grano sobre la cual las fuerzas de adhesión son operativas, hay un volumen alrededor de cada grano, que puede designarse como "espacio de adhesión" y las partículas suspendidas que entran en este espacio serían removidas del flujo, a medida que sean atraídas para adherirse a la superficie de los granos". Las fuerzas de Van der Waals se incrementan con la densidad de las partículas, de manera que el flóculo más denso se adhiere con más fuerza al medio filtrante.

Se ha encontrado que el rango de acción de ellas para agua destilada es de 0.2 u. y para agua natural es de alrededor de 0.02 u. Por tanto su capacidad de atraer o transportar partículas es despreciable, no así su capacidad de retenerlas en la superficie de los granos del filtro cuando hacen contacto con ésta.

Por otra parte, las fuerzas de Van der Waals son independientes del pH y de las características de la fase acuosa. Por consiguiente, si éstas fueran el único

mecanismo de adhesión, la filtración sería independiente del pH, lo que no concuerda con los resultados obtenidos en la práctica.

- Fuerzas Electroestáticas - Son la combinación de las fuerzas coulómbicas con las de Van der Waals las que determinan, dentro de ciertas circunstancias, la adsorción entre partículas. Considerando este mecanismo como el responsable de la adhesión del material suspendido al medio filtrante, tres son los casos que se pueden considerar:

1. Los granos del medio filtrante poseen cargas eléctricas negativas y los flóculos, son positivas. En este caso existe una fuerza atractiva entre el medio y las partículas, lo que hace que la sola aproximación de éstas a los granos del lecho, puede producir atracción y adhesión.
2. Los granos del medio filtrante poseen cargas eléctricas negativas mientras que los flóculos son neutros. En este caso la barrera de energía ha desaparecido y todo contacto se puede esperar que termine en adhesión.
3. Los granos del medio filtrante poseen cargas eléctricas negativas y los flóculos, son negativos también. En este caso existe repulsión entre unos y otros, pero las fuerzas hidrodinámicas pueden ocasionalmente vencer la barrera de energía y aproximar lo suficiente

los flóculos a los granos como para que las fuerzas atractivas de Van der Waals puedan actuar. La probabilidad de adhesión de las partículas en este caso es menor que las anteriores.

Esta hipótesis concuerda bastante con los resultados prácticos, y ayuda a explicar por qué la mayor o menor dosificación de coagulantes influencia tan estrechamente en el comportamiento de los filtros.

- Puente Químico - Como ya se ha visto, la desestabilización de los coloides es efectuada por los productos de la hidrólisis que a determinados pH se polimerizan. Las cadenas poliméricas adheridas a las partículas, dejan sus segmentos extendidos en el agua, los que pueden ser adsorbidos por otras partículas o por sitios vacantes en los granos del filtro.

El uso de ayudantes de filtración inyectados en el afluente al filtro, puede ser de gran utilidad para aumentar la adhesión de la materia suspendida al medio filtrante. Las partículas con sus segmentos poliméricos adheridos, al atravesar las contricciones del medio filtrante, se enlazan con los segmentos sueltos adsorbidos por los granos o por los de partículas ya adheridas al lecho filtrante quedando en esta forma retenidas.

3.4.2. Factores que influyen en la filtración

Existen varios factores que en una u otra forma influyen en el proceso de filtración, los cuales son:

a. Tipo de medio filtrante

El medio filtrante usado en plantas de tratamiento de agua, está constituido por arena silícea, antracita, granate o una combinación de dichos materiales. La forma tiene importancia no sólo por el aspecto hidráulico (pérdida de carga inicial) sino por la relación superficie a volumen, ya que el proceso de la filtración tiene relación directa con el área total de los granos. Es por eso que la eficiencia del medio filtrante es inversamente proporcional al diámetro de las partículas.

b. Velocidad de filtración

La velocidad de filtración es inversamente proporcional a la eficiencia.

c. Tipo de suspensión

Las características físicas y químicas de la suspensión afectan en forma notable el comportamiento de los filtros. En muchos casos resultan más importantes para obtener una determinada calidad de efluente, que el tamaño y clase del medio filtrante usado, ya que el mismo filtro trabajando a la misma velocidad puede producir agua con mayor o menor turbiedad, según sea el tipo de suspensión que reciba.

Características Físicas - El volumen, la densidad y el tamaño del flóculo, se relacionan en varias formas con la rapidez con que aumenta la pérdida de carga en el filtro, y otros parámetros. Si el volumen del flóculo es grande, los poros del medio filtrante se llenarán con mayor rapidez y la gradiente hidráulica aumentará más en menos tiempo. Por otro lado, las fuerzas de Van der Waals se incrementan con la densidad de las partículas, de manera que ésta puede influir en la adhesividad del flóculo y en consecuencia en la profundidad de su penetración dentro del lecho y su resistencia al desprendimiento por esfuerzos cortantes.

El tamaño de las partículas influye a su vez en el mecanismo que predomina para la remoción del material suspendido, lo que se relaciona con la proporción de partículas de determinado diámetro que resultan retenidas en el proceso.

Características Químicas - Se ha estudiado la interrelación entre el pH, el potencial Zeta y la eficiencia del filtro.

Existe fuerte evidencia de que los compuestos de sílice (arenas) en el agua, son electronegativos con Potencial Zeta que varía entre -36 y -177 m.v. Las arcillas en suspensión acuosa son también electronegativas. Cuando se les agrega un coagulante metálico, su potencial zeta disminuye desde -25 ó -15 m.v. hasta -5 ó cero m.v. y en ocasiones adquieren cargas

positivas cuando se llega a la sobredosis. Por consiguiente, entre los granos del medio filtrante y las partículas de la suspensión podría establecerse fuerzas repulsivas.

Sin embargo, se ha encontrado que las capas superficiales del filtro (3/16" de espesor) son fuertemente electropositivas, aunque el resto del lecho sea electronegativo, y que durante el proceso de filtrado las cargas tanto positivas como negativas del lecho disminuyen acercándose al punto isoeléctrico. A $\text{pH} = 7$ la disminución es mucho más rápida que a cualquier otro pH , y la pérdida de carga es mayor a dicho pH que a otros valores de pH .

La pequeña capa superficial que se forma en el filtro constituida esencialmente por material orgánico (bacterias, algas, etc.) por tener carga positiva, puede crear fuerzas atractivas entre ellas y las partículas electronegativas de la suspensión.

Según los estudios, son los granos del medio filtrante los que cambian de potencial zeta durante el filtrado. Las partículas de arcilla que contiene el agua no parecen modificar su potencial zeta cualesquiera sea su pH , al pasar a través del filtro.

Se podría concluir que a medida que el potencial zeta se hace más electronegativo y por tanto el pH del agua aumenta, la turbiedad del efluente va siendo menor hasta alcanzar un valor óptimo, a partir del cual

la turbiedad del filtrado es definitivamente mayor a medida que el pH se hace mayor. Existe por tanto un valor óptimo de pH para filtrar el agua, que no necesariamente es igual al que se encuentra para desestabilizarla y sedimentarla.

- d. Influencia de la temperatura - La temperatura del agua afecta tanto los mecanismos físicos como los químicos que intervienen en la filtración. Estudios realizados han llevado al convencimiento que a menor temperatura la pérdida de carga que se produce en el filtro es menor, probablemente debido a una más lenta remoción del flóculo a menor temperatura. Por otro lado, a menor temperatura se produce menos depósitos de partículas floculantes en la superficie del filtro.
- e. Dureza de los flóculos La dureza del flóculo es un factor importante en el proceso de filtración, ya que mientras éste sea más compacto, es decir tenga menos cantidad de agua, tendrá mayor resistencia al esfuerzo cortante. En cambio los flóculos blandos, pueden romperse al aumentar la velocidad del flujo y aumentar el esfuerzo cortante.

3.4.3. Características del medio filtrante

- a. Arena - La arena que se usa en los filtros rápidos es de menos de 2.0 mm. de diámetro, y está compuesta de material silíceo con una dureza de 7 en la escala de Moh y un peso específico no menor de 2.60. Deberá estar

limpia: sin barro ni materia orgánica, y no más del 1 % podrá ser material laminar o micáceo. La solubilidad en HCl al 40 % durante 24 horas tiene que ser menor del 5 % y la pérdida por ignición menor del 0.7 %.

Los diseñadores europeos suelen preferir este tipo de arena con diámetros entre 0.8 y 1.0 mm. La práctica americana, en cambio, es emplear arena con coeficiente de uniformidad entre 1.50 y 1.70 y tamaño efectivo entre 0.40 y 0.70, con preferencia entre 0.45 y 0.55. No más del 1 % debe ser mayor de 2.0 mm. o menor de 0.3 mm.

Cuando se lava el lecho filtrante con flujo ascendente, la arena se estratifica según su peso y tamaño, quedando los granos más gruesos en la parte inferior y los más finos en la superior. Estos últimos son los que crean mayor resistencia al paso del agua y, por eso, deben removerse cuando son menores de 0.3 mm.

La porosidad de la arena se relaciona con su forma: las arenas redondeadas tienen porosidades que varían entre 40 y 44 % y las arenas angulares, porosidades mayores, por lo general entre 42 y 46 %. La porosidad varía según el grado de compactación del lecho y la limpieza del mismo. Lechos sucios tienen bajas porosidades, y al progresar la carrera de filtración (tiempo de trabajo del filtro entre cada lavado) se compactan. Comúnmente a menor porosidad se obtiene mejor efluente, pero la pérdida de carga aumenta

más rápidamente debido a una menor capacidad de almacenaje de partículas en los poros.

b. Grava - La grava se coloca sobre el sistema de drenaje, cuando éste lo requiere y tiene un doble propósito:

- Servir de soporte al lecho de arena durante la operación de filtrado para evitar que ésta se escape por los drenes.
- Distribuir uniformemente el agua de lavado.

El tipo y tamaño del lecho de grava depende del sistema de drenaje que se use. Por lo general se colocan 40 a 45 cm. de diferentes tamaños de mayor a menor, así:

Lecho	Profundidad (cm.)	Tamaño (pulg.)
Fondo	15 - 12	2 - 1
Primero	7.5 - 7	1 - 1/2
Segundo	7.5 - 7	1/2 - 1/4
Tercero	7.5 - 7	1/4 - 1/8
Gravilla	7.5 - 7	1/8 - 1/12

La gravilla deberá ser cuidadosamente seleccionada, con peso específico no menor de 2.65 y preferentemente mayor, sin partículas de menor densidad.

La grava por su parte deberá ser dura, limpia de limo o material orgánico, en lo posible cantos rodados sin aristas agudas y con un peso específico, no menor de 2600 Kg/m³.

La profundidad de cada lecho deberá ser como mínimo, 5 cm. En cualquier lecho, el tamaño mínimo de sus elementos no puede ser menor que el tamaño máximo de grava de la capa que va a quedar encima.

También son utilizados otros tipos de medio filtrante como: la antracita, el granate, magnetita, granito, granos de polistriene, etc. Los cuales, por su alto costo y formas de operación, no serán utilizadas en este trabajo.

3.4.4. Características Hidráulicas

- a. Tasa de Filtración - Es la cantidad de agua tratada por unidad de área del medio filtrante en un determinado tiempo. Por lo general es expresado como: $m^3/m^2/día$. Es un valor propio para cada tipo de medio filtrante.
- b. Carga hidráulica disponible - Cuando se diseña un filtro considerando una carga hidráulica alta, se corre el riesgo de producirse una compactación del medio filtrante (esto porque hay demasiada columna de agua sobre el medio filtrante); en cambio con cargas hidráulicas pequeñas, se tendrá que lavar con mayor frecuencia el filtro (porque la carrera de filtración será menor).

3.4.5. Tipos de filtros

Se puede clasificar a los filtros de las siguientes formas:

a. Según la velocidad de filtración

- Filtros rápidos Se trabaja con tasas de filtración del orden de 120 a 360 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$.
- Filtros lentos Se trabaja con tasas de filtración del orden de 7 a 12 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$.

b. Según el tipo de medio filtrante

- Medio filtrante simple - Por lo general es utilizada la arena o la antracita.
- Medio filtrante doble - Es utilizada la arena (en el estrato inferior) y la antracita (en el estrato superior).
- Medio filtrante triple Es utilizado la arena, la antracita y el granate.

c. Según el tipo de flujo

- Flujo ascendente El agua a tratar se desplaza de abajo hacia arriba.
- Flujo descendente El agua a tratar se desplaza de arriba hacia abajo.

d. Según la carga sobre el lecho

- Por gravedad Cuando las condiciones topográficas lo permitan.

- Por presión - Cuando no hay la suficiente carga hidráulica para superar la pérdida de carga que se desarrolla en el filtro, es necesario utilizar bombas de presión.
- e. Según el sistema de control
- Tasa constante - Durante toda la carrera de filtración, la tasa no sufre cambio alguno; produciendo que la calidad del efluente sea menor a medida que se llega al final de dicha carrera.
 - Tasa declinante - A medida que transcurre el tiempo, se va disminuyendo la tasa de filtración, para seguir obteniendo la misma calidad del efluente hasta el final de la carrera de filtración.

El cuadro 3.4.1. muestra las diferentes combinaciones de sistemas de filtración que pueden existir dependiendo del medio filtrante, el sentido del flujo, la carga sobre el lecho y su sistema de control.

Cuando se pone en marcha un filtro, en el medio filtrante las partículas del lecho con menor densidad tienden a situarse en la parte superior del lecho y las de mayor densidad en el fondo. Por eso no es recomendable utilizar un solo tipo de medio filtrante en condiciones de filtración rápida y flujo descendente, ya que la parte superior del filtro se colmataría rápidamente, produciéndose carreras de filtración muy cortas.

En los filtros lentos, la velocidad es menor permitiendo la formación de microorganismos que contribuyen a mejorar la calidad bacteriológica del efluente, sin necesidad de procesos químicos. Este sistema sólo puede trabajar con valores máximos de turbiedad de 50 U.T.

C U A D R O S

SEGUN LA VELOCIDAD DE FILTRACION	SEGUN EL MEDIO FILTRANTE USADO	SEGUN EL SENTIDO DEL FLUJO	SEGUN LA CARGA SOBRE EL LECHO	SEGUN EL SISTEMA DE CONTROL
RAPIDOS: 120 - 360 m ³ /m ² /día	1. ARENA: (h = 60 - 75 cm.)	ASCENDENTES	POR GRAVEDAD	TASA CONSTANTE
	2. ANTRACITA: (h = 60 - 75 cm.)			
	3. MIXTOS: ANTRACITA (50 - 60 cm.) Y ARENA (15 - 20 cm.)	DESCENDENTES	POR PRESION	TASA DECLINANTE
	4. MIXTOS: ARENA, ANTRACITA, GRANATE	FLUJO MIXTO		
LENTOS: 7 - 12 m ³ /m ² /día	ARENA: (h = 60 - 100 cm.)	ASCENDENTES DESCENDENTES	POR GRAVEDAD	

CUADRO 3. 4. 1. TIPOS DE MEDIO FILTRANTE UTILIZADOS, TIPO DE FLUJO Y SISTEMA HIDRAULICO DE TRABAJO. (1)

G R A F I C O S

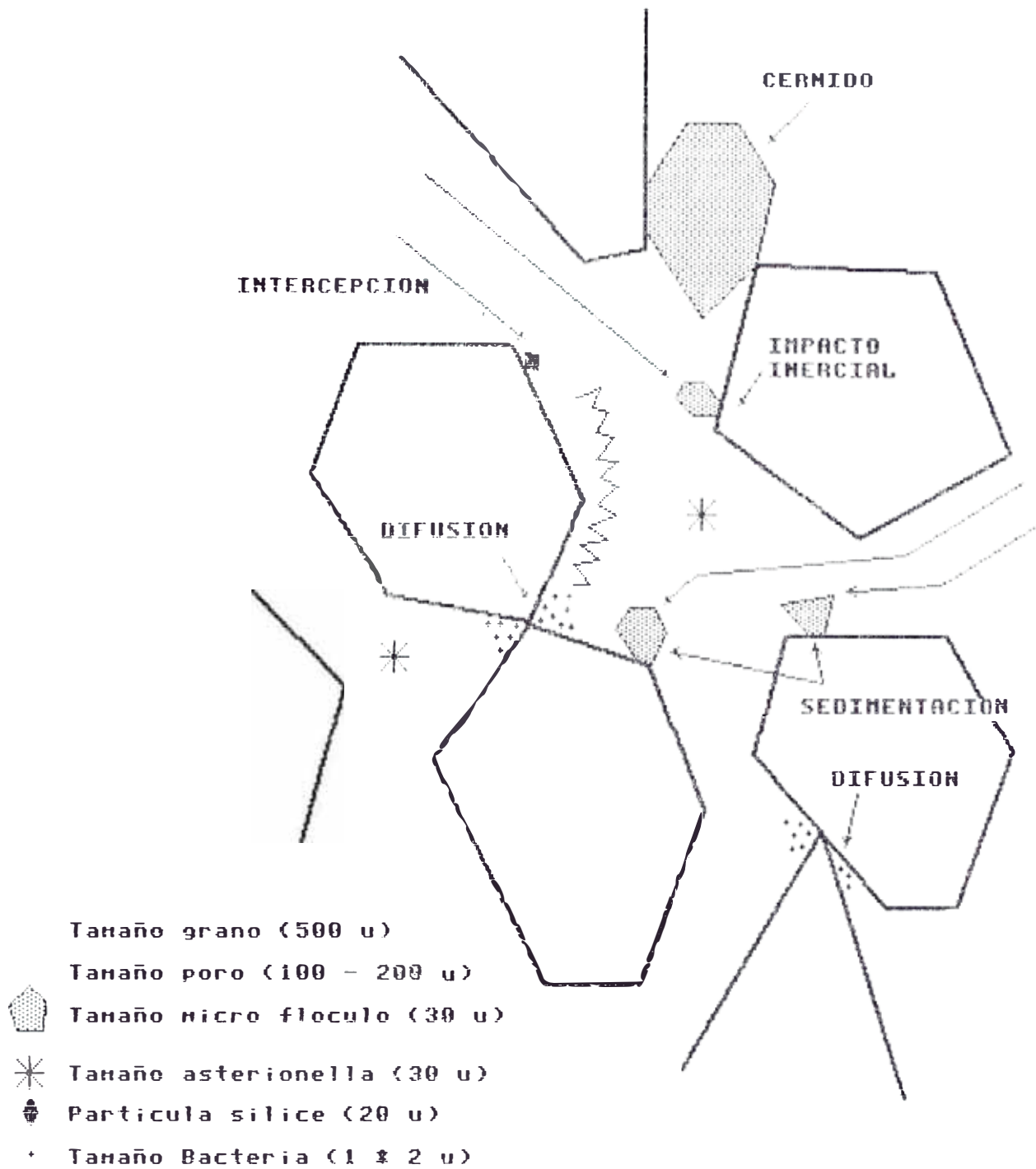


GRAFICO 3. 4. 1. DIFERENTES MECANISMOS QUE PRODUCEN TRANSPORTE DE LAS PARTICULAS HASTA LOS GRANOS DE UN MEDIO FILTRANTE. (1)

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- (1) ARBOLEDA, Jorge. "Teoría, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del Agua". OMS - Organización Panamericana de la Salud. Lima - Perú. 1973.

3.5. TEORIA SOBRE FILTRACION DIRECTA

La filtración directa es una derivación de la filtración rápida convencional. Se entiende por filtración directa al proceso usado en el tratamiento de aguas en el que es utilizado la siguiente secuencia:

- a. Coagulación.
- b. Floculación (empleado o no, en función de la calidad del agua bruta).
- c. Filtración.

Mientras en los sistemas de filtración rápida convencional se realizan los procesos de coagulación (o mezcla rápida), floculación (o mezcla lenta), decantación (o sedimentación), filtración rápida y desinfección; en la filtración directa se realiza la coagulación seguida de la filtración rápida, sin pasar por los procesos de floculación y decantación.

La diferencia principal entre los sistemas de filtración directa y los sistemas convencionales, es que la remoción de sólidos se realiza solamente en los filtros, pues el objetivo principal de la filtración directa es la formación de microflóculos que queden retenidos en la filtración y no flóculos de características sedimentables.

El cuadro 3.5.1. muestra una comparación entre los procesos de filtración convencional y las distintas formas de aplicación de la filtración directa, tomando como parámetros de

comparación la turbiedad, el color y coliformes fecales y los porcentajes de las carreras de filtración en los cuales se determinaron. Por ser motivo del estudio, sólo se desarrollará la filtración directa del tipo ascendente, cuyas ventajas serán indicadas más adelante.

La filtración directa es un tipo de tratamiento desarrollado para tratar un tipo de agua muy particular, la cual posee un turbiedad bastante baja (menor de 100 U.T.), pero cuyo requerimiento precisa que el filtro trabaje con tasas semejantes a las utilizadas en la filtración rápida convencional.

3.5.1. Mecanismos de Remoción de Impurezas mediante la Filtración Directa:

Aplicando una mezcla rápida apropiada entre el coagulante y el agua a tratar, hay un gran número de reacciones complejas que ocurren con la materia orgánica y las partículas en suspensión, en un tiempo menor a un segundo. En esta fase del proceso, las partículas formadas son muy pequeñas y comienzan a colisionar unas con otras para juntarse mutuamente. La tasa de aglomeración para formar flóculos visibles depende principalmente del número de oportunidades de contacto disponibles. La aglomeración en un cuerpo de agua estática ocurre a tasas bajas (casi imperceptibles), que pueden ser aumentadas produciendo agitación en el agua. Con un floculador bien proyectado, la aglomeración de estas partículas puede ser realizado eficientemente en tiempos que

varían de 5 a 45 minutos (para sistemas convencionales), tiempos en los cuales son obtenidos flóculos con tamaño suficiente para sedimentar rápidamente.

En la filtración directa, este proceso convencional de floculación, en algunas ocasiones puede ser eliminado. El agua con partículas desestabilizadas puede ser pasada directamente a través del medio filtrante, donde ocurre la floculación por contacto como parte del proceso de filtración, donde las tasas de aglomeración son mayores debido a innumerables oportunidades de choque al pasar el agua por los intersticios del medio granular. Las partículas floculantes son adheridas o adsorvidas en los granos del lecho filtrante. Los granos de menor tamaño van a proporcionar el mayor número de oportunidades de contacto, tornándose más rápida la remoción de partículas.

El gráfico 3.5.1. presenta en forma esquemática el tipo de coagulación de adsorción que se debe dar en la filtración directa.

Los poros, a lo largo del material filtrante van siendo gradualmente ocupados por las partículas previamente retenidas en la superficie de los granos que comienzan a desprenderse debido a la acción de los esfuerzos cortantes. A medida que la carrera de filtración prosigue, los granos de las primeras capas del medio filtrante se van tornando incapaces de retener partículas

ubicándose en las capas inferiores. Finalmente, la pérdida de carga en el lecho filtrante alcanza su máximo valor, ocasionando que el filtro tenga que ser lavado.

Si la estructura de un flóculo no es resistente, esto debido al dosaje inadecuado del coagulante empleado, comienzan a aparecer en el efluente pequeñas partículas (fenómeno conocido como traspase); en este caso el filtro será lavado cuando el número de partículas (medido a través de un turbidímetro) sobrepasen el límite pre-fijado que garantiza la calidad del efluente tratado. La filtración directa es un proceso donde existe una superposición de los mecanismos de acumulación (transporte y aglomeración) de partículas y el mecanismo de ruptura que origina el fenómeno de traspase.

a. Mecanismos de acumulación

El proceso de remoción de partículas en suspensión en un medio granular, está dividido en dos mecanismos secuenciales: Transporte y aglomeración. La tasa de transporte de partículas en suspensión a un medio filtrante está controlada principalmente por fuerzas físicas como la gravedad. En cuanto a los mecanismos de aglomeración son controlados tanto por las propiedades de las partículas en suspensión, como la de los granos del medio filtrante; así como las características químicas de la suspensión.

Mecanismos de transporte Han sido identificados cinco procesos capaces de transportar partículas en suspensión del líquido a la superficie del medio granular.

1. Movimiento Browniano El movimiento aleatorio de pequeñas partículas ocurre debido a efectos térmicos. Cuando el transporte de las partículas resulta del movimiento browniano, la eficiencia de un grano del medio filtrante mejorará si se aumenta el tamaño de las partículas del medio y si se disminuye la tasa de filtración. La remoción de partículas por el mecanismo del movimiento browniano no es de mucha importancia en los sistemas convencionales de tratamiento que incluyen la floculación y sedimentación; pero puede ser importante en la floculación por contacto para la remoción de la turbiedad de aguas con partículas en suspensión de tamaño muy pequeñas o en la remoción de materia orgánica.
2. Movimiento del fluido - Las partículas en suspensión siguen el curso del fluido en los espacios intersticiales del medio filtrante, pudiendo colisionar con los granos a través del mecanismo de intercepción (explicado en el capítulo III subcapítulo 3.4.). Cuando el transporte de partículas en suspensión se debe a este mecanismo, la eficiencia del grano mejorará con el aumento del tamaño de la partícula y disminuirá con

el aumento del tamaño del grano del medio filtrante.

3. Fuerzas de gravedad - En el caso de la filtración del tipo ascendente, la fuerza de gravedad representa un mecanismo negativo, cuya influencia es mínima considerando que las partículas coloidales no son ejercidas por estas fuerzas; sin embargo ya dentro de los intersticios del lecho filtrante pueden ejercer cierta acción de sedimentación. Este mecanismo mejora la eficiencia de la filtración al aumentar el tamaño de las partículas y con la disminución de la tasa de filtración.
4. Fuerza de rotación - Ha sido sugerido e incluido como mecanismo del transporte de partículas, siendo la rotación provocada por el régimen hidrodinámico y la forma angular de las partículas.
5. Penetración intersticial - A pesar de no ser considerado un mecanismo de transporte propiamente dicho; es un factor físico que se refiere a la retención de partículas en las juntas de los granos del material filtrante y también en los intersticios pequeños de ese mismo medio granular. La eficiencia de este mecanismo está en función de la relación tamaño de la partícula/tamaño del grano, que debe ser como mínimo 0.05 para tornarse considerable.

El gráfico 3.5.2. muestra la eficiencia de un medio filtrante en función del tamaño de las partículas en suspensión, en el cual se señala la importancia de los mecanismos de transporte en la filtración directa. De este gráfico se observa que para partículas con tamaño inferior a 1 u., el transporte al medio granular es debido principalmente al movimiento browniano; y para partículas mayores de 1 u., el transporte por sedimentación e intercepción dominan el proceso.

Mecanismos de Adherencia y Aglomeración

Tanto las partículas en suspensión como los granos del medio filtrante reaccionan con las especies orgánicas e inorgánicas disueltas en el agua; ambos sólidos poseen carga eléctrica que es equilibrada por la acumulación de iones de cargas contrarias alrededor de su superficie, produciendo separación eléctricamente neutra. Las fuerzas de Van der Waals son responsables de la adherencia de las partículas en los granos del medio filtrante; pero estas al ser fuerzas de atracción bastante débiles se complementan con los mecanismos de transporte para lograr la remoción de las partículas en suspensión.

Mecanismos de Ruptura - La existencia de este mecanismo es reconocida por observaciones hechas, donde las impurezas atraviesan el medio filtrante durante la carrera de filtración y también por la ocurrencia del traspase de la turbiedad cuando la estructura

del flóculo producido no es capaz de mantenerse totalmente adherido al medio filtrante. Por acción de los esfuerzos cortantes, los flóculos se desalojan de las camas superiores del lecho filtrante, apareciendo pequeñas partículas floculantes en el efluente tratado, lo que en el tratamiento de desagües puede representar un riesgo ya que significaría que altas concentraciones de agentes patógenos podrían salir con el efluente.

3.5.2. Evolución Tecnológica de la Filtración Directa de Flujo Ascendente

En esta parte se describirá como al paso de los años, los investigadores han llegado a mejorar este tipo de tratamiento. Dichas mejoras servirán de base para el desarrollo de la parte experimental de este trabajo.

Los soviéticos (4) a partir de la década de los 50's, fueron los primeros en experimentar y utilizar la filtración directa de flujo ascendente. Siendo los parámetros de control los siguientes:

- * Tasa de filtración . 150 - 180 m³/m²/día.
- * Turbiedad del afluente < 150 U.T.
- * Profundidad del medio 2.0 - 2.5 m.
- * Diámetro del medio 0.5 - 2.0 mm.
- Diámetro promedio 0.9 - 1.1 mm.
- Tamaño efectivo 0.55 - 0.65 mm.
- * Profundidad de la grava. 0.40 - 0.60 mm.
- * Diámetro de la grava 4.0 - 30.0 mm.

De este trabajo, se atribuyeron las siguientes ventajas al tratamiento:

- a. Reducción de las dimensiones de las instalaciones de tratamiento de agua, con la eliminación de las unidades de pre-tratamiento.
- b. Reducción de la cantidad de productos químicos utilizados (cerca del 30 % de reducción de los dosajes).
- c. Filtración en el sentido decreciente de la granulometría, aprovechando mejor toda la cama filtrante.
- d. Aumento menos acentuado de la pérdida de carga, a lo largo de la carrera de filtración.

En 1965, DIAPER Y IVES ⁽⁹⁾, realizaron ensayos en una planta piloto, con los siguientes parámetros de control:

- * Tasa de filtración . 120 - 240 m³/m²/día.
- * Profundidad del medio 1.20 m.
- * Diámetro del medio 0.6 - 1.2 mm.

De sus experimentos llegaron a las siguientes conclusiones:

- a. Debido a una mejor distribución de los depósitos a lo largo del medio filtrante, la operación en sentido ascendente lleva a un crecimiento más lento de la pérdida de carga, permitiendo carreras de filtración más

largas.

- b. Las principales desventajas de la filtración ascendente parecen ser:
- La tendencia de expansión del medio filtrante.
 - La dificultad en el lavado cuando se han acumulado depósitos a determinadas profundidades del filtro.
 - La posibilidad de que ocurran depósitos en los drenes, dificultando la limpieza de los mismos.

En 1968, HAMANN Y McKINNEY ⁽⁴⁾ presentaron el primer trabajo científico sobre filtración ascendente realizado en los Estados Unidos. El objetivo era verificar la posibilidad de tratar el agua del río Kansas a través de los clarificadores de contacto soviéticos, o sea, por un sistema de filtración directa ascendente. Utilizaron plantas pilotos con las siguientes características:

- * Tasa de filtración . 150 - 500 m³/m²/día.
- * Diámetro del filtro 15 cm.
- * Diámetro del medio 0.6 - 1.2 mm.
- Tamaño efectivo 0.55 mm.
- Diámetro promedio 0.9 mm.
- Coef. de uniformidad 2.00
- Porosidad 41 %
- * Coagulante Al₂(SO₄)₃
- * Turbiedad del afluente .. 17 - 460 U.T.
- * Turbiedad del efluente ... 2 U.T.
- * Carrera de filtración 2 - 7 horas.

De los experimentos realizados, llegaron a las siguientes conclusiones:

- a. Mayor altura de cama de arena produce mejores resultados.
- b. El uso de aire comprimido se vuelve necesario durante el lavado del filtro, a fin de limpiar las capas inferiores de arena y la capa de soporte.
- c. La filtración ascendente presenta una ventaja definitiva sobre la descendente, debido al uso de todo el lecho filtrante en la remoción del material suspendido, la capacidad de almacenamiento es tal, que en algunos casos las unidades de floculación, sedimentación y filtración pueden ser substituidos por un filtro de flujo ascendente.

En 1971, en Brasil, GRINPLASTCH ⁽⁶⁾ realizó las primeras experiencias en la ciudad de Colatina, y utilizó un filtro con las siguientes características:

* Tasa de filtración	160 m ³ /m ² /día.
* Area del filtro	16 m ² .
* Diámetro del medio	0.5 - 2.4 mm.
Tamaño efectivo	0.7 mm.
Coef. de uniformidad	2.5
* Profundidad del medio	2.0 m.
* Diámetro de la grava ...	2.4 - 25.4 mm.
* Profundidad de la grava ..	0.60 m.
* Altura de agua	1.80 m.
* Turbiedad del afluente	150 U.T.
* Turbiedad del efluente	2 - 10 U.T.

- * Carrera de filtración 60 horas.
- * Pérdida de carga final ... 1.90 m.
- * Agua para lavado 2 %

Del trabajo realizado se obtuvieron las siguientes ventajas:

- a. Realizar buena coagulación.
- b. Evitar la necesidad de tratamiento previo.
- c. Reducir el consumo de coagulante.
- d. Hacer la filtración en el sentido favorable de la reducción de los poros del medio filtrante.
- e. Utilizar todo el lecho para la remoción de las partículas en suspensión.
- f. Presenta carreras de filtración mayores.
- g. Mejor aprovechamiento de la carga hidráulica disponible.

Y las siguientes desventajas:

- a. Mezcla de agua de lavado con el agua de filtrado.
- b. Limitaciones relativas en la calidad del afluente.
- c. Facilidad de fludificación del lecho filtrante.

- d. El agua obtenida al inicio de la carrera de filtración (primeros minutos) es de calidad inferior.

C U A D R O S

ALTERNATIVA	90 % DE TIEMPO	80 % DE TIEMPO	ESPORADICAMENTE
FILTRACION RAPIDA COMPLETA: COAGULACION, DECANTACION Y FILTRACION RAPIDA DESCENDENTE.	Tmax.= 1000 UT Cmax.= 150 UC CF. = 600/100 ml.	Tmax.= 800 UT Cmax.= 70 UC	Tmax.= 1500 UT SI T > 1500 UT, ANADIR PRE-SEDIMENTACION. SI CF > 600/100 ml., ANADIR PRE-CLORACION.
FILTRACION DIRECTA DESCENDENTE: MEZCLA RAPIDA Y FILTRACION RAPIDA DESCENDENTE.	Tmax.= 30 UT Cmax.= 40 UC ALGAS= 100 mg/m ³ . CF. = 500/100 ml.	Tmax.= 20 UT	Tmax. = 50 UT
FILTRACION DIRECTA ASCENDENTE: MEZCLA RAPIDA Y FILTRACION RAPIDA ASCENDENTE.	Tmax.= 100 UT Cmax.= 60 UC	Tmax.= 50 UT	Tmax.= 200 UT Cmax.= 100 UT
FILTRACION DIRECTA ASCENDENTE-DESCENDENTE: MEZCLA RAPIDA Y FILTRACION RAPIDA ASCENDENTE Y DESCENDENTE.	Tmax.= 250 UT Cmax.= 60 UC	Tmax.= 150 UT	Tmax.= 400 UT Cmax.= 100 UC

CUADRO 3.5.1. VALORES MAXIMOS PERMISIBLE DE TURBIEDAD, COLOR Y PRESENCIA BACTERIANA EN LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE FILTRACION DIRECTA (1)

G R A F I C O S

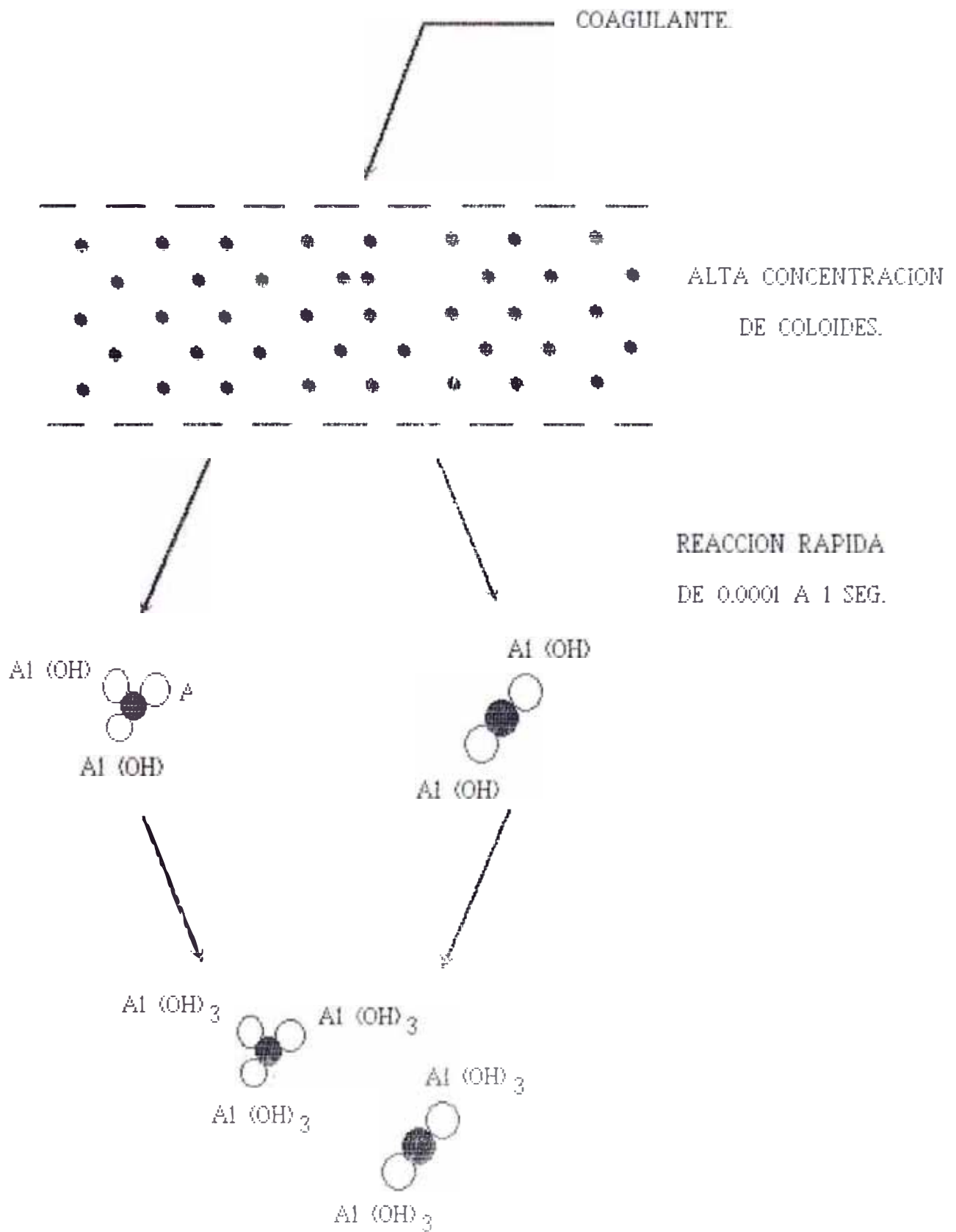


GRAFICO 3. 5. 1. ESQUEMA DE LA COAGULACION DEL TIPO DE ADSORCION. (2)

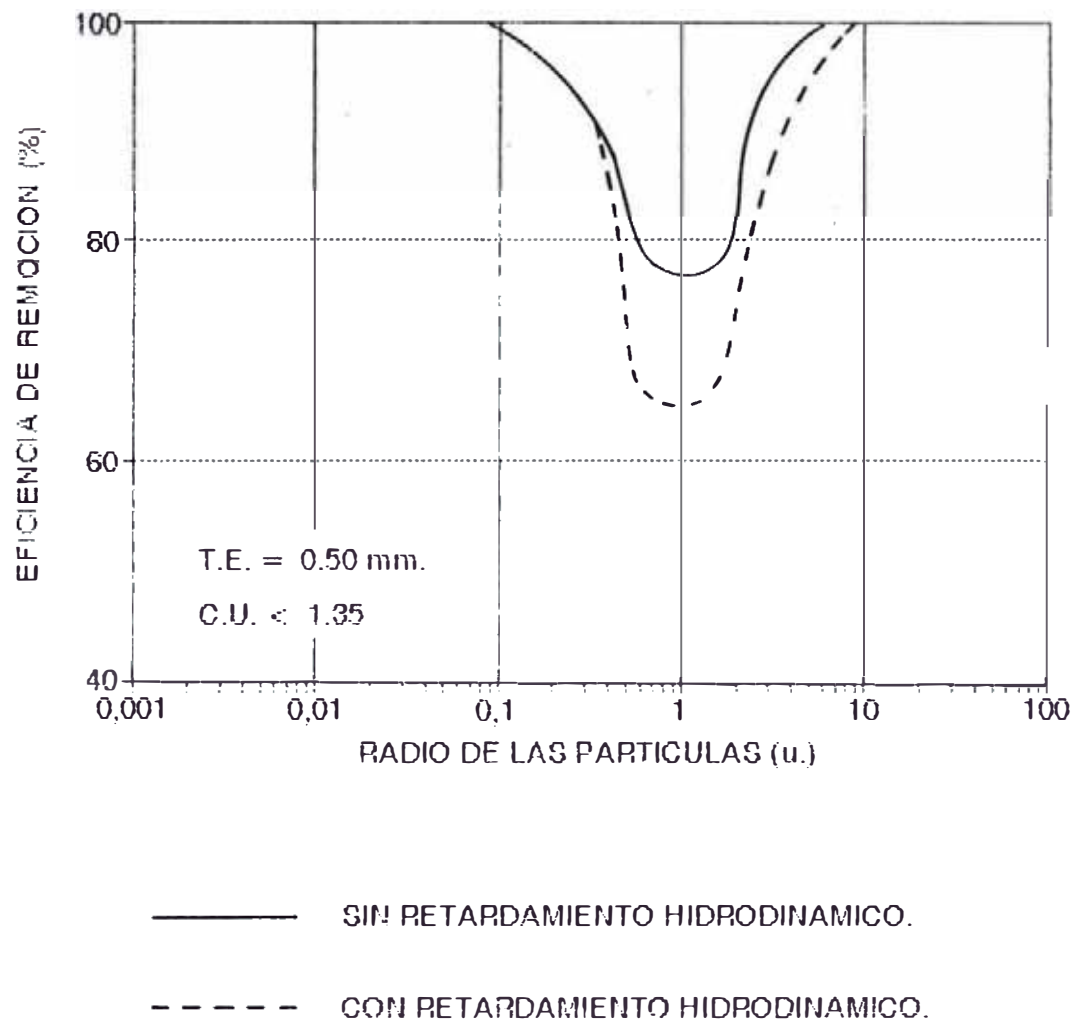


GRAFICO 3.5.2. EFICIENCIA DE UN MEDIO FILTRANTE EN
FUNCION AL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS
EN SUSPENSION (3).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- (1) MALDONADO, Víctor. "Curso de Tratamiento de Aguas II". Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería. Lima - Perú. 1993.
- (2) RONCAL VERGARA, Segundo Fausto. "Utilización de Almidones como Ayudantes de Floculación en el Tratamiento de Aguas para Consumo Humano". Lima - Perú.
- (3) DI BERNARDO, Luis. "Filtración Directa Ascendente". CETESB. Brasil. 1982.
- (4) HAMANN, C.L. Y McKINNEY, R.E. - "Upflow Filtration Process". Jour. A.W.W.A., Denver, September, 1968.
- (5) DIAPER, W.C. Y IVES, K.J. - "Filtration Through Size-Graded Media". Proc. ASCE - JOUR. San Eng. Div. Junio 1965.
- (6) GRIMPLASTCH, B.S. - "Nova Técnica de Filtración en Uso no Brasil". VI Congreso de Engenharia Sanitaria. Sao Paulo, S.P., 1971.

CAPITULO IV

PARTE EXPERIMENTAL

P A R T E E X P E R I M E N T A L

Todos los conceptos que se han descrito en el capítulo III de esta tesis, requerían de la construcción de una planta piloto, a fin de poder ver en la práctica, si los criterios que se aplican en la filtración directa de flujo ascendente de aguas destinadas al consumo humano, podrían utilizarse en el tratamiento de las aguas residuales.

Es así que con el valioso consentimiento de SEDAPAL, se nos permitió construir dicha planta piloto en el local de su planta de tratamiento de aguas residuales de Carapongo, y que las pruebas de laboratorio las efectuáramos en su Departamento de Control de Calidad.

4.1. DESCRIPCION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CARAPONGO

La planta de tratamiento de aguas residuales de Carapongo se encuentra ubicada en el kilómetro 17 de la Carretera Central, en la margen izquierda del río Rímac. Esta planta fue construida en 1988 y diseñada para tratar un caudal de 140 lt/seg. de aguas residuales de las zonas de Chosica, Ñaña, Huaycán y Chaclacayo. En esta planta se verifican los siguientes procesos:

- a. Las aguas residuales llegan a la planta y pasan a una cámara de rejas, donde se retienen los materiales de tamaño considerable como plásticos, trozos de madera, trapos, desperdicios en general, etc.

- b. A continuación, las aguas residuales pasan a un desarenador. Esta unidad cuenta con un medidor Parshall para poder registrar el caudal que ingresa a la planta.
- c. Luego, estas aguas pasan a dos lagunas de estabilización primaria, las cuales cuentan con 6 aireadores cada una, para suministrar el oxígeno requerido para mejorar la eficiencia de la estabilización de la materia orgánica (DBO).
- d. Después, las aguas residuales pasan a dos lagunas de estabilización secundaria, las cuales operan como lagunas facultativas.
- e. Siguiendo este proceso, las aguas residuales pasan a cuatro unidades de sedimentación, en las cuales se remueven las partículas de tamaño discreto que se forman con la estabilización de la materia orgánica, así como las pequeñas cantidades de lodos que pueden ser arrastrados de las unidades anteriormente señaladas.

Finalmente, estas aguas deben pasar por un proceso de desinfección antes de ser utilizadas en las zonas agrícolas aledañas y/o antes de disponerlos al río Rímac.

En la actualidad, la planta de Carapongo recibe un caudal promedio de 180 lt/seg. con variaciones máximas y mínimas diarias de 280 lt/seg. y de 90 lt/seg. respectivamente.

Además de las unidades ya mencionadas, en la planta de Carapongo se vienen realizando algunos proyectos de investigación sobre otros tipos de

tratamiento de las aguas residuales, mediante unidades piloto, como es el caso de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (R.A.F.A.) y dos unidades de filtración de flujo descendente.

4.2. UBICACION Y DESCRIPCION DE LA PLANTA PILOTO DE FILTRACION DIRECTA DE FLUJO ASCENDENTE

La planta piloto de filtración directa de flujo ascendente que se desarrolló en este trabajo, fue ubicada cerca de las dos unidades de flujo descendente, en una zanja cuya profundidad es de aproximadamente de 3 m., utilizando como afluente, el efluente del R.A.F.A., por ser este un agua residual con una turbiedad bastante baja y con alta presencia de microorganismos patógenos, los cuales era preciso remover con la filtración directa.

4.2.1. Descripción de la Planta Piloto

La planta piloto consta de lo siguiente:

- Una bomba centrífuga.
- Un tanque para almacenar el efluente del R.A.F.A., de 500 lt. de capacidad.
- Un tanque elevado de 100 lt. para almacenamiento del coagulante.
- Un equipo descartable de venoclisis.
- Dos cámaras de carga.
- Dos unidades de filtración.

Por razones de seguridad, para garantizar el funcionamiento continuo de esta planta piloto, se construyeron dos unidades de filtración y sus correspondientes cámaras de carga provistos de vertederos.

Tomando como referencia el gráfico 4.2.1. que muestra el esquema general de la planta piloto, el efluente proveniente del

R.A.F.A. (fotografía 4.2.1.) es bombeado (fotografías 4.2.2. y 4.2.3.) hacia un tanque de 500 lt. (fotografías 4.2.4., 4.2.5 y 4.2.6.), el cual tiene un sistema que permite un ingreso de agua constante a las siguientes unidades, conformado por un flotador que sujeta a una tubería plástica flexible en la que se encuentra el punto de ingreso de agua (fotografía 4.2.7.). Luego, pasa a una cámara de carga provisto de un vertedero, donde se registra la pérdida de carga total en la carrera de filtración (fotografías 4.2.8. y 4.2.9.). Por la base de las cámaras de carga sale una tubería de 3/4" de diámetro para conectar a los dos (02) módulos de filtración (fotografías 4.2.10. y 4.2.11.) que son tuberías de PVC de 10" de diámetro provistas de un falso fondo constituido por un difusor de 3/4" diámetro * 0.25 m. de largo y 24 orificios de 1/8" de diámetro. El afluente atraviesa en forma ascendente estratos de grava de tamaño variable cuya altura es de 0.70 m. y luego arena con una altura de 2.00 m.

Asimismo, para el dosaje del coagulante se ha instalado un equipo descartable de venoclisis que sale de su respectivo tanque de almacenamiento (fotografía 4.2.12.), el mismo que tiene también un sistema que permite el ingreso de flujo constante, llegando al punto de dosificación que es el vertedero ubicado en la cámara de carga, de donde el agua pasa a los filtros. Para la dilución del coagulante se utilizó agua potable y no la del R.A.F.A.

El agua filtrada sale por la parte superior de los módulos, a través de un vertedero ubicado a una altura de 1.60 m. por encima del lecho de arena y otro a una altura de 0.60 m. de la misma cota para la descarga del agua de lavado.

En la parte inferior de los filtros llegan conexiones de 3/4" de diámetro para realizar el lavado de los mismos, utilizando la misma agua proveniente del R.A.F.A. que es bombeada directamente a los filtros.

4.2.2. Características de los lechos de grava y arena

El material filtrante empleado, está constituido por la grava, con tamaños que varían por cada espesor desde 31,7 - 15,9 mm. en los extremos hasta 4,8 2,4 mm. en la mitad del espesor total; la arena para ambos módulos es la misma. El siguiente cuadro detalla las características del lecho de grava y arena.

<u>G R A V A</u>	
<u>Espesor (m.)</u>	<u>Tamaño (mm.)</u>
0,100	15,9 - 9,5
0,125	9,5 - 4,8
0,100	4,8 - 2,4
0,125	9,6 - 4,8
0,100	15,9 - 9,6
0,075	25,4 - 15,9
0,075	31,7 - 25,4
<u>A R E N A</u>	
Tamaño efectivo	0,90 mm.
C.U.	1,60
Tamaño menor	0,60 mm.
Tamaño mayor	2.00 mm.
Espesor	2.00 m.

4.2.3. Metodología

a. Fin de la Carrera de Filtración

El criterio para asumir el final de una carrera, fue que la pérdida de carga total haya alcanzado 1.80 m. que representa el 90 % de la altura del lecho filtrante.

b. Tasas de Filtración

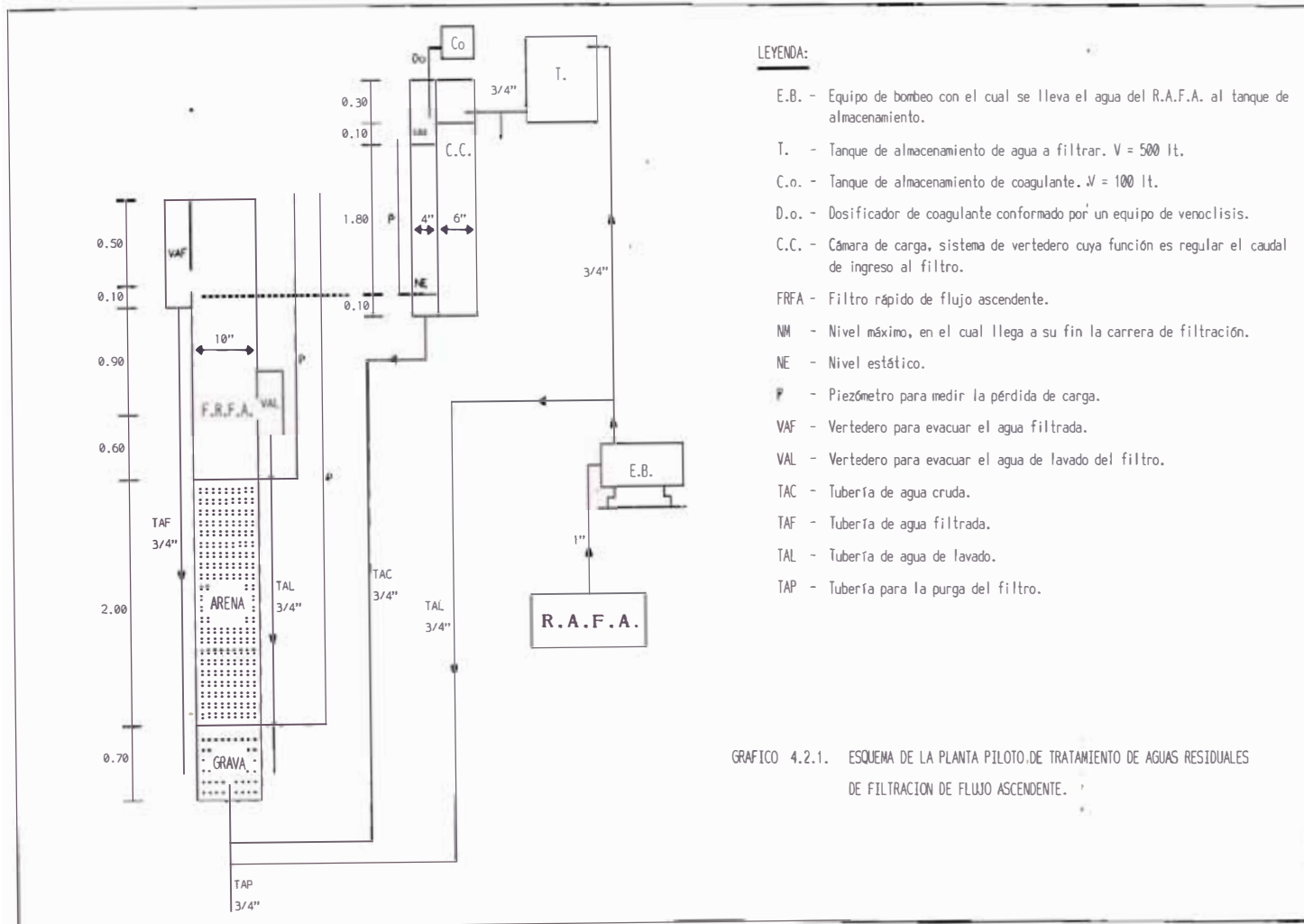
Las tasas estudiadas oscilaron entre 70 y 210 m³/m²/día. Cabe recalcar que durante la carrera de filtración, la tasa de trabajo fue del tipo constante, es decir, no se alteró en ningún momento el caudal a filtrar.

c. Operación de los módulos

Se ha observado la siguiente secuencia:

1. Se calibró la válvula de ingreso de agua cruda de la cámara de carga, de acuerdo a la tasa de operación adoptada, para lo cual se midió el caudal de forma volumétrica.
2. Se registraron los valores de pH y alcalinidad del agua filtrada.
3. Se ajustó la dosificación del coagulante de acuerdo a la dosis óptima que se determinó en el laboratorio, y la tasa de filtración que se adoptó.
4. Se efectuaron las carreras de filtración, tomando reportes de:
 - Pérdida de carga en la cámara de carga.
 - Presencia de parásitos en el agua filtrada.
 - Análisis físico-químicos y bacteriológicos del agua filtrada.
 - Volumen de agua filtrada.
5. Se efectuó el lavado de los filtros, tomando reportes de:
 - Presencia de parásitos en el agua de lavado.
 - Tiempo que tardó el lavado.
 - Análisis físico-químicos y bacteriológicos del agua de lavado.
 - Volumen de agua necesaria para el lavado.

G R A F I C O S



LEYENDA:

- E.B. - Equipo de bombeo con el cual se lleva el agua del R.A.F.A. al tanque de almacenamiento.
- T. - Tanque de almacenamiento de agua a filtrar. V = 500 lt.
- C.o. - Tanque de almacenamiento de coagulante. V = 100 lt.
- D.o. - Dosificador de coagulante conformado por un equipo de venoclisis.
- C.C. - Cámara de carga, sistema de vertedero cuya función es regular el caudal de ingreso al filtro.
- FRFA - Filtro rápido de flujo ascendente.
- NM - Nivel máximo, en el cual llega a su fin la carrera de filtración.
- NE - Nivel estático.
- P - Piezómetro para medir la pérdida de carga.
- VAF - Vertedero para evacuar el agua filtrada.
- VAL - Vertedero para evacuar el agua de lavado del filtro.
- TAC - Tubería de agua cruda.
- TAF - Tubería de agua filtrada.
- TAL - Tubería de agua de lavado.
- TAP - Tubería para la purga del filtro.

GRAFICO 4.2.1. ESQUEMA DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE FILTRACION DE FLUJO ASCENDENTE.

F O T O G R A F I A S



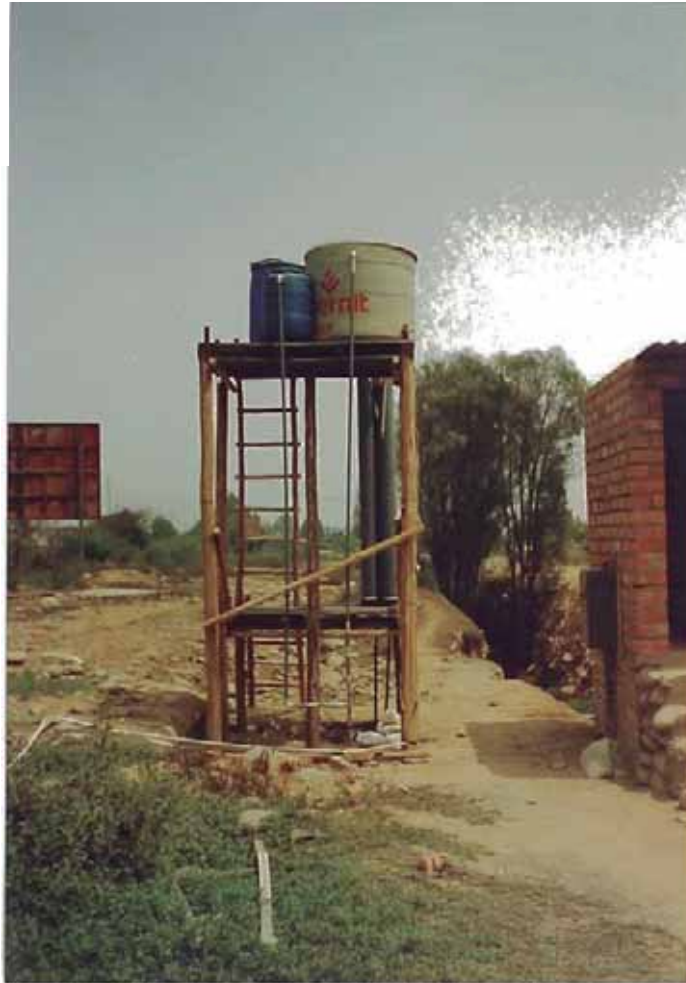
- 4.2.1. Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (R.A.F.A.). Unidad experimental de tratamiento de las aguas residuales, el cual se caracteriza por su capacidad de entregar un efluente casi totalmente libre de materia orgánica.



- 4.2.2. Equipo de bombeo utilizado para llevar el agua proveniente del R.A.F.A. al tanque de almacenamiento de 500 lt.



- 4.2.3. Equipo de bombeo. Se observa la succión de la bomba, la cual está protegida por una canastilla para evitar que ingrese material grueso. Se muestra, también, un tramo de la tubería de impulsión.



- 4.2.4. Tanque de Eternit de 500 lt. para el almacenamiento del agua proveniente del R.A.F.A. y tanque de almacenamiento de coagulante, (tanque azul) de 100 lt. de capacidad.



- 4.2.5. Otra vista de los tanques antes descritos y de las tuberías de llegada del agua bombeada a estos tanques.



- 4.2.6. Altillo donde fue ubicado el tanque de almacenamiento del agua proveniente del R.A.F.A. para proporcionar la carga hidráulica necesaria para que el agua pase a través del filtro.



- 4.2.7. Sistema de ingreso de caudal de agua constante a las cámaras de carga. Este sistema fue instalado tanto en el tanque de 500 lt. para el almacenamiento del agua, como también en el tanque de 100 lt. para el coagulante.



4.2.8. Cámara de Carga utilizada para registrar la pérdida de carga total en el filtro y la carga hidráulica disponible durante la carrera de filtración.



- 4.2.9. Dos (02) cámaras de cargas. Se observa las tuberías de rebose instaladas para el caso que la máxima pérdida de carga producida, traiga como consecuencia que el agua se rebalse y dañe las instalaciones.



- 4.2.10. Dos (02) módulos de filtración de flujo ascendente. Se observan las distintas tuberías de entrada y salida de agua.



4.2.11. Uno de los módulos de filtración de flujo ascendente. Se observan los vertederos de agua filtrada (arriba) y de agua de lavado (abajo).



- 4.2.12. Equipo descartable de venoclisis, que sale del tanque de almacenamiento de coagulante (tanque azul), y que se utilizó para dosificar el coagulante al agua en el momento de su paso por la cámara de carga.

4.3. PRUEBAS DE LABORATORIO

En el laboratorio se determinó el valor de la dosis óptima de coagulante que se utilizó en la planta piloto, así como también la posible presencia de parásitos.

En el primer caso se efectuaron las pruebas con tres tipos diferentes de coagulante; sulfato de aluminio, cloruro férrico y polímero catiónico CAT-FLOC. Las pruebas se realizaron con un valor determinado de concentración del coagulante, que para este caso debía permitir que la mezcla rápida se realice en un tiempo muy pequeño, considerando también que los caudales a tratar en la planta piloto eran muy bajos. En función de esta premisa, fue necesario trabajar con concentraciones de coagulante bastante bajas, las cuales permitieron una mezcla rápida y homogénea en el agua a tratar.

Es por ello que las concentraciones del coagulante que se utilizaron para la determinación de la dosis óptima, fueron de 0.2 % y 0.5 %, concentraciones que permitieron un buen trabajo del filtro. Concentraciones menores hubieran dificultado la operación en la planta piloto, como por ejemplo, la necesidad de contar con almacenamientos mayores para el coagulante a fin de garantizar una dosificación constante durante todo el día.

Las pruebas de laboratorio tuvieron como parámetro de eficiencia la presencia de huevos de helmintos, quistes de protozoarios y/o estos microorganismos en pleno desarrollo; es decir, se

consideró como dosis óptima aquella con la cual se obtuviera ausencia de organismos parásitos después de las pruebas.

La metodología de la prueba de jarras en el laboratorio fue la siguiente:

1. Analizar la muestra de agua residual para determinar el pH y alcalinidad.
2. Si fuese necesario elevar la alcalinidad natural del agua, dosificar carbonato de calcio, aproximadamente 25 mg/lt. (ó ppm.) y medir nuevamente el pH. Constatar que el pH del agua debe estar entre 4 y 7 para lograr que el coagulante actúe satisfactoriamente. Asimismo, el agua a tratar debe tener una alcalinidad mínima de 50 mg/lt. para que pueda reaccionar con el coagulante.
3. Seleccionar un rango de dosis de coagulante, que para el caso del sulfato de aluminio y el cloruro férrico fueron de: 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 12.5 y 15.0 mg/lt.; y para el cat-floc de: 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 y 6.0 mg/lt. Las concentraciones con las cuales se va a realizar las pruebas son de 0.2 % y 0.5 % Es necesario hallar el volumen de coagulante que se va a mezclar con la muestra de agua de tal manera que cumpla con la dosis y concentración deseada, para lo cual se utiliza la siguiente relación:

$$\text{Vol. Coag. (ml.)} = \frac{\text{Vol. Jarra. (ml.)} * \text{Dosis (ppm.)}}{\text{Concentración (ppm.)}}$$

Como el volumen de las jarras es de 2 lt., es decir 2000 ml.; y que las concentraciones son de 0.2 y 0.5 %, es decir 2000 y 5000 mg/lt. respectivamente; los volúmenes serán:

	Conc. = 0.2 %	Conc. = 0.5 %
1.0 ppm.	1.0 ml.	0.4 ml.
2.0 ppm.	2.0 ml.	0.8 ml.
2.5 ppm.	2.5 ml.	1.0 ml.
3.0 ppm.	3.0 ml.	1.2 ml.
4.0 ppm.	4.0 ml.	1.6 ml.
5.0 ppm.	5.0 ml.	2.0 ml.
6.0 ppm.	6.0 ml.	2.4 ml.
7.5 ppm.	7.5 ml.	3.0 ml.
10.0 ppm.	10.0 ml.	4.0 ml.
12.5 ppm.	12.5 ml.	5.0 ml.
15.0 ppm.	15.0 ml.	6.0 ml.

4. Llenar los vasos a un volumen de 2 lt., colocar los deflectores para mejorar la mezcla y colocar los vasos en el equipo de prueba de jarras de tal manera que las paletas de éste no choquen con los deflectores.
5. Colocar la solución de coagulante en las jeringas sin las agujas.
6. Preparar el equipo de filtración, que consiste en bomba de vacío, embudos y papel de filtro Watman #40. Colocar el papel de filtro en los embudos, dándole la forma de éstos y asegurarlo utilizando una piceta con agua destilada humedeciendo el papel. Los embudos deben estar colocado en un erlenmeyer para que retenga en ellos la muestra filtrada.

7. Poner en funcionamiento el equipo de jarras a 100 rpm.
8. Introducir, al mismo tiempo, las jeringas con el coagulante en las respectivas jarras, procurando que estas estén lo más cercanas posible a las paletas.
9. Dosificar el coagulante al mismo tiempo en todas las jarras y dejar que se efectuó la mezcla rápida durante 1 minuto.
10. Pasado ese tiempo, se apaga el equipo de jarras y se retira inmediatamente las jarras del equipo.
11. Estas muestras deben ser filtradas.

Las muestras filtradas fueron preparadas para realizar las pruebas de presencia de parásitos, para lo cual se utilizaron dos métodos: el método de sedimentación y el método directo:

Método de Sedimentación:

1. Colocar en las probetas 100 ml. de la muestra.
2. Agregar 10 ml. de sulfato de aluminio al 10% y agitar con una varilla para homogenizar y dejar en reposo durante 20 minutos cada muestra.
3. Decantar la muestra hasta 20 ml. y colocar en los frascos de centrifugación; enrasar con agua destilada.
4. Llevar a centrifugación a 3500 rpm. durante 15 minutos, luego decantar el sobrenadante.

5. Al sedimento que queda se le agrega agua destilada hasta enrasar a 100 ml., se agita bien y se centrifuga a 3000 rpm. durante 5 minutos (esto se hace 2 veces).
6. Decantar el sobrenadante, agregar agua destilada hasta la mitad del tubo y centrifugar a 2300 rpm. durante 3 minutos.
7. Decantar el sobrenadante, agregar formol al 10% hasta la mitad del tubo, remover con una varilla para homogenizar y por último agregar eter dietílico, llevar a centrifugar a 2300 rpm. durante 1 minuto.
8. Observar al microscopio el sedimento.

Método Directo:

1. Tomar 10 ml. de la muestra y colocarla en los tubos de centrifugación a 1000 rpm. durante 10 minutos.
2. Retirar el sedimento y observar al microscopio.

4.4. VALORES DE COMPARACION DE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO

Para evaluar la eficiencia de la unidad piloto de filtración directa de flujo ascendente, fue necesario establecer los parámetros correspondientes.

Partiendo del hecho, que se desea emplear este tipo de tratamiento para obtener un efluente que pueda ser utilizado en la agricultura; el punto de partida para establecer estos parámetros fue un documento que elaboró la Organización Mundial de la Salud en el año de 1985. Dicho documento se refiere al reuso de las aguas residuales y se denomina: "DIRECTRICES SANITARIAS PARA EL USO DE AGUAS RESIDUALES EN AGRICULTURA", en donde destacan los siguientes conceptos, que a continuación se indican textualmente:

- Las aguas residuales domésticas representan un recurso valioso y siempre que sea posible debe emplearse con las debidas medidas de protección sanitaria.
- El uso de tal materia prima exige la reducción de la contaminación ambiental.
- Donde, sea posible, el aprovechamiento de las aguas residuales en agricultura debe ser el método preferido de evacuación de aguas residuales y debe ser parte integrante de la planificación del empleo de los recursos hídricos.

Aprovechando las aguas residuales se puede proteger la salud con un conjunto integrado de medidas tales como tratamiento y técnicas apropiadas de utilización de las mismas. La óptima combinación de medidas dependerá de las condiciones locales y de los grupos específicos de personas que se deberá proteger.

De lo expuesto, se deduce que el principio básico es el reuso de las aguas residuales pero con la prioridad de garantizar la salud de las personas que utilicen de este recurso, tratando de emplear la tecnología más adecuada a la realidad económica de los pueblos.

Por otro lado se expone, que la eliminación de agentes patógenos es el principal objetivo del tratamiento de aguas residuales para su posterior utilización.

El indicador de contaminación fecal es la presencia de COLIFORMES FECALES. Este indicador es confiable respecto a los patógenos bacterianos, mas no para virus excretados, teniendo uso limitado cuando se trata de protozoarios y helmintos (para los cuales no existe indicadores seguros). **El documento antes mencionado, señala como valor máximo recomendado para el uso de aguas residuales en agricultura, 1000 coliformes fecales/100 ml.**

El indicador utilizado para cuantificar parásitos es la presencia de HUEVOS DE HELMINTOS, ya que el uso de aguas residuales en agricultura exige la eliminación casi completa de ellos. Estas

directrices introducen un método más estricto en relación a la necesidad de reducir el número de huevos de helmintos (de las especies *Ascaris*, *Trichuris* y *Anquilastomas*) en los efluentes a una concentración de uno o menor de uno por litro. Esto significa aplicar procesos de tratamiento apropiado en las zonas donde las enfermedades producidas por estos parásitos son endémicas y como tal, representan un riesgo potencial para la salud.

En el cuadro 4.4.1. se indican las directrices de la OMS en forma resumida y en el cuadro 4.4.2. se señalan los diferentes procesos de eliminación de microorganismos excretados y sus respectivas eficiencias remocionales.

Este documento es tal vez la base más significativa para establecer los valores de los parámetros que deben ser aplicados para evaluar la eficiencia de cualquier tratamiento que se desea efectuar, para tratar aguas residuales con la finalidad de su reuso en la agricultura.

C U A D R O S

CATEGORIA	CONDICIONES DE APROVECHAMIENTO	GRUPO EXPUESTO	NEMATODES INTESTINALES ^B (NUMERO DE HUEVOS/LITRO) ^C	COLIFORMES FECALES (NMP/100 ML.) ^C	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES NECESARIO PARA LOGRAR LA CALIDAD MICROBIOLOGICA EXIGIDA.
A	Riego de cultivos que comunmente se consumen crudos, campos de deporte y parques públicos.	Trabajadores Consumidores Público.	< 1	< 10000 ^D	Serie de estanques de estabilización que permiten lograr la calidad microbiológica indicada o tratamiento equivalente.
B	Riego de cultivos de cereales industriales y forrajes, praderas y árboles ^E .	Trabajadores.	< 1	No se recomienda ninguna norma.	Retención en estanques de estabilización por 8 ó 10 días o tratamiento equivalente.
C	Riego localizado de cultivos en la categoría B cuando ni los trabajadores ni el público están expuestos.	Ninguno.	No es aplicable.	No es aplicable.	Tratamiento primario según lo exija la tecnología de riego por no menos que sedimentación primaria.

- A. En casos específicos, se deberá tener en cuenta los factores epidemiológicos, socio-culturales y ambientales de cada lugar y modificar las directrices de acuerdo con ello.
- B. Especies: *Ascaris*, *Trichurus* y *Asquillostomas*.
- C. Durante el periodo de riego.
- D. Conviene establecer una directriz más estricta (< 200 coliformes fecales/100 ml.) para prados públicos, como los de los hoteles, con los que el público pueda entrar en contacto directo.
- E. En el caso de los árboles frutales, el riego debe cesar dos semanas antes de cosechar la fruta y ésta no se debe recoger del suelo. No es conveniente regar por aspersión.

CUADRO 4.4.1. DIRECTRICES RECOMENDADAS POR LA OMS SOBRE LA CALIDAD BACTERIOLOGICA DE LAS AGUAS RESIDUALES USADAS EN AGRICULTURA⁽¹⁾.

PROCESO DE TRATAMIENTO	ELIMINACION (UNIDADES LOGARITMICAS ₁₀) DE			
	BACTERIAS	HELMINTOS	VIRUS	QUISTES
SEDIMENTACION PRIMARIA				
SENCILLA	0 - 1	0 - 2	0 - 1	0 - 1
CON AYUDA QUIMICA ^B	1 - 2	1 - 3 ^H	0 - 1	0 - 1
LODO ACTIVADO ^C	0 - 2	0 - 2	0 - 1	0 - 1
BIOFILTRACION ^D	0 - 2	0 - 2	0 - 1	0 - 1
LAGUNA VENTILADA ^D	1 - 2	1 - 3 ^H	1 - 2	0 - 1
ZANJA DE OXIDACION ^C	1 - 2	0 - 2	1 - 2	0 - 1
DESINFECCION ^E	2 - 6 ^H	0 - 1	0 - 4	0 - 1
ESTANQUE DE ESTABILIZACION DE DESECHOS ^F	1 - 6 ^H	1 - 3 ^H	1 - 4	1 - 4
DEPOSITO DE AFLUENTE ^G	1 - 6 ^H	1 - 3 ^H	1 - 4	1 - 4

A. Fuente: Referencia 3.

B. Se necesitan investigaciones más detalladas para confirmar los resultados.

C. Incluida la sedimentación secundaria.

D. Incluido los estanques de sedimentación.

E. Cloración u ozonización.

F. Los resultados dependen del número de estanques en serie y de otros factores ambientales.

G. Los resultados dependen del tiempo de retención, que varía con la demanda.

H. Con un buen diseño y con manejo apropiado es posible cumplir con las directrices recomendadas.

GRAFICO 4.4.2. ELIMINACION PREVISTA DE MICROORGANISMOS EXCRETADOS EN VARIOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. ^A (1)

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) Directrices Sanitarias para el Uso de Aguas Residuales en Agricultura. OMS. 1985.

4.5. EVALUACION Y PRESENTACION DE LOS RESULTADOS

En este numeral se presentan los resultados obtenidos en las diversas pruebas realizadas en el laboratorio y en la planta piloto, durante el tiempo que duró esta investigación.

En el laboratorio, se efectuaron las pruebas bacteriológicas y físico-químicas necesarias para evaluar la eficiencia del sistema de filtración, con la determinación de: Coliformes Totales, Coliformes Fecales, Organismos Parásitos, Vibrio Cholerae, DBO, Sólidos Totales, Sólidos Fijos, Sólidos Volátiles, Sólidos Sedimentables y Alcalinidad. En la planta piloto se efectuaron las mediciones de pérdida de carga en la cámara de carga y en el lecho filtrante, así como el caudal de agua filtrada, tiempo de lavado y volumen de agua de lavado.

Cabe recalcar, que en el microscopio se observó la presencia o ausencia de organismos parásitos, pero no se hizo recuento de ellos en las muestras en las cuales se encontraron, por recomendación de los especialistas en este tema, ya que lo que se buscaba es la total ausencia de estos microorganismos.

Las características de las aguas residuales que ingresan a la planta de tratamiento de Carapongo y las del efluente del R.A.F.A. se muestran en el cuadro 4.5.1. En este cuadro se observa que la remoción de organismos parásitos y bacteriológicos no es considerable, mientras que en los aspectos físico-químicos, hay una eficiencia remocional bastante alta, especialmente

en lo que se refiere a la DBO (65 %) y a los sólidos sedimentables (78 %). Estos resultados confirman las características remocionales que los textos atribuyen a las Reactores Anaeróbicos de Flujo Ascendente (R.A.F.A.)

Los cuadros 4.5.2, 4.5.3 y 4.5.4 muestran los resultados de las pruebas de jarra realizadas en el laboratorio para obtener la dosis óptima de coagulante, para la remoción de parásitos. Luego de realizarse estas pruebas se verificó que el coagulante más adecuado de los tres que se probaron, fue el polímero catiónico CAT-FLOC, ya que la dosis óptima necesaria fue de 2 ppm. a una concentración de 0.2 %, representando en promedio la quinta parte de la dosis de sulfato de aluminio o cloruro férrico que se requeriría para obtener los mismos resultados de remoción de organismos parásitos. Además se comprobó que usando el sulfato de aluminio con el efluente del R.A.F.A., se generaba anhídrido sulfuroso, cuyo mal olor fue notorio.

Una vez que el filtro se puso en operación se realizaron carreras de filtración a diferentes valores de tasa. Las tasas que se emplearon se encuentran dentro de los rangos recomendados para filtros rápidos.

Los resultados que se muestran a continuación se obtuvieron luego de realizar cinco (05) carreras por cada tasa de filtración adoptada.

CARRERA DE FILTRACION #1:

- Caudal a filtrar 0.040 lt/seg.
- Tasa de filtración 70 m³/m²/día.

- Dosis de coagulante 2 mg/lt.
- Concentración de coagulante . 0.2 %
- Duración de la carrera 92 horas.
- Volumen de agua filtrada 13.248 m³.
- Volumen de agua de lavado ... 0.48 m³.
- Tiempo de lavado 5 minutos.

Resultados:

- El gráfico 4.5.1. muestra la variación de la pérdida de carga en el filtro durante la carrera de filtración. Se observa que la pérdida de carga inicial fue de 0.75 m., carga que fue necesaria para vencer la resistencia ejercida por la capa de soporte (grava) y por el lecho filtrante.
- El gráfico 4.5.2. muestra la variación de la pérdida de carga en el lecho filtrante. Se observa que la pérdida de carga inicial en el lecho fue de 0.62 m. y la pérdida de carga alcanzada al final de la carrera fue 1.41 m.
- Se hicieron mediciones y análisis del agua filtrada con intervalos de 12 horas. En ninguno de ellos se encontró presencia de organismos parásitos. Se detectó presencia de algas en el agua filtrada, las que se generaron porque la velocidad de filtración en esta tasa es muy baja, trayendo como consecuencia que el sistema se comporte como un filtro lento.
- Se realizó el lavado del filtro y se necesitó 0.48 m³. para ello, lo que representa el 3.62 % del agua filtrada, para poder obtener una expansión del medio filtrante del 20 % . El lavado del filtro se efectuó con descargas de 30 seg. para poder separar los granos de arena, seguido de pequeños flujos continuos

para arrastrar el material desprendido del lecho filtrante.

- Se muestreó el agua de lavado y se encontró trofozoitos de protozoarios y larvas de helmintos. La ausencia de quistes de protozoarios y huevos de helmintos se debió al hecho que son parte de la alimentación de especies superiores que se generan en las aguas residuales.

CARRERA DE FILTRACION #2:

- Caudal a filtrar 0.060 lt/seg.
- Tasa de filtración 105 m³/m²/día.
- Dosis de coagulante 2 mg/lt.
- Concentración de coagulante. 0.2 %
- Duración de la carrera 74 horas.
- Volumen de agua filtrada ... 15.984 m³.
- Volumen de agua de lavado .. 0.50 m³.
- Tiempo de lavado 6 minutos.

Resultados:

- El gráfico 4.5.3. muestra la variación de la pérdida de carga en el filtro durante la carrera de filtración. Se observa que la pérdida de carga inicial fue de 0.81 m., carga que fue necesaria para vencer la resistencia ejercida por la capa de soporte (grava) y por el lecho filtrante. Esta pérdida de carga inicial fue mayor que con la tasa anterior debido al aumento del caudal.
- El gráfico 4.5.4. muestra la variación de la pérdida de carga en el lecho filtrante. Se observa que la pérdida de carga inicial en el lecho fue de 0.65 m. y la pérdida de carga alcanzada al final de la carrera fue 1.42 m.

- Se hicieron mediciones y análisis del agua filtrada con intervalos de 12 horas. En ninguno de ellos se encontró presencia de organismos parásitos.
- Se realizó el lavado del filtro y se necesitó 0.50 m³. para ello, lo que representa el 3.10 % del agua filtrada, para poder obtener una expansión del medio filtrante del 20 % . El lavado del filtro se efectuó con descargas de 30 seg. para poder separar los granos de arena, seguido de pequeños flujos continuos para arrastrar el material desprendido del lecho filtrante.
- Se muestreó el agua de lavado y se encontró trofozoitos de protozoarios y larvas de helmintos. La ausencia de quistes de protozoarios y huevos de helmintos se debió al hecho que son parte de la alimentación de especies superiores que se generan en las aguas residuales.

CARRERA DE FILTRACION #3:

- Caudal a filtrar 0.08 lt/seg.
- Tasa de filtración 140 m³/m²/día.
- Dosis de coagulante 2 mg/lt.
- Concentración de coagulante. 0.2 %
- Duración de la carrera 62 horas.
- Volumen de agua filtrada ... 17.856 m³.
- Volumen de agua de lavado .. 0.55 m³.
- Tiempo de lavado 5 minutos.

Resultados:

- El gráfico 4.5.5. muestra la variación de la pérdida de carga en el filtro durante la carrera de filtración. Se observa que la pérdida de carga inicial fue de 0.90 m.,

carga que fue necesaria para vencer la resistencia ejercida por la capa de soporte (grava) y por el lecho filtrante. Esta pérdida de carga inicial fue mayor que con la tasa anterior debido al aumento del caudal.

- El gráfico 4.5.6. muestra la variación de la pérdida de carga en el lecho filtrante. Se observa que la pérdida de carga inicial en el lecho fue de 0.67 m. y la pérdida de carga alcanzada al final de la carrera fue 1.40 m.
- Se hicieron mediciones y análisis del agua filtrada con intervalos de 8 horas. En ninguno de ellos se encontró presencia de organismos parásitos.
- Se realizó el lavado del filtro y se necesitó 0.55 m³. para ello, lo que representa el 3.08 % del agua filtrada, para poder obtener una expansión del medio filtrante del 20 % . El lavado del filtro se efectuó con descargas de 30 seg. para poder separar los granos de arena, seguido de pequeños flujos continuos para arrastrar el material desprendido del lecho filtrante.
- Se muestreó el agua de lavado y se encontró trofozoitos de protozoarios, quistes de protozoarios y larvas de helmintos. La presencia de quistes de protozoario se debió a que el tiempo de la carrera era menor y las especies mayores no se habían adaptado completamente al nuevo medio de vida.

CARRERA DE FILTRACION #4:

- Caudal a filtrar 0.10 lt/seg.
- Tasa de filtración 176 m³/m²/día.
- Dosis de coagulante 2 mg/lt.
- Concentración de coagulante. 0.2 %

- Duración de la carrera 44 horas.
- Volumen de agua filtrada ... 15.840 m³.
- Volumen de agua de lavado .. 0.50 m³.
- Tiempo de lavado 5 minutos.

Resultados:

- El gráfico 4.5.7. muestra la variación de la pérdida de carga en el filtro durante la carrera de filtración. Se observa que la pérdida de carga inicial fue de 1.01 m., carga que fue necesaria para vencer la resistencia ejercida por la capa de soporte (grava) y por el lecho filtrante. Esta pérdida de carga inicial fue mayor que con la tasa anterior debido al aumento del caudal.
- El gráfico 4.5.8. muestra la variación de la pérdida de carga en el lecho filtrante. Se observa que la pérdida de carga inicial en el lecho fue de 0.71 m. y la pérdida de carga alcanzada al final de la carrera fue 1.42 m.
- Se hicieron mediciones y análisis del agua filtrada con intervalos de 8 horas. En ninguno de ellos se encontró presencia de organismos parásitos.
- Se realizó el lavado del filtro y se necesitó 0.50 m³. para ello, lo que representa el 3.16 % del agua filtrada, para poder obtener una expansión del medio filtrante del 20 % . El lavado del filtro se efectuó con descargas de 30 seg. para poder separar los granos de arena, seguido de pequeños flujos continuos para arrastrar el material desprendido del lecho filtrante.
- Se muestreó el agua de lavado y se encontró trofozoitos de protozoarios, quistes de

protozoarios, huevos de helmintos y larvas de helmintos. La presencia de quistes de trofozoitos y huevos de helmintos se debió a que el tiempo de la carrera era menor y las especies mayores no se habían adaptado completamente al nuevo medio de vida, no pudiendo alimentarse con las especies inferiores.

CARRERA DE FILTRACION #5:

- Caudal a filtrar	0.12 lt/seg.
- Tasa de filtración	211 m ³ /m ² /día.
- Dosis de coagulante	2 mg/lt.
- Concentración de coagulante.	2 %
- Duración de la carrera	36 horas.
- Volumen de agua filtrada ...	15.552 m ³ .
- Volumen de agua de lavado ..	0.50 m ³ .
- Tiempo de lavado	6 minutos.

Resultados:

- El gráfico 4.5.9. muestra la variación de la pérdida de carga en el filtro durante la carrera de filtración. Se observa que la pérdida de carga inicial fue de 1.10 m., carga que fue necesaria para vencer la resistencia ejercida por la capa de soporte (grava) y por el lecho filtrante. Esta pérdida de carga inicial fue mayor que con la tasa anterior debido al aumento del caudal.
- El gráfico 4.5.10. muestra la variación de la pérdida de carga en el lecho filtrante. Se observa que la pérdida de carga inicial en el lecho fue de 0.73 m. y la pérdida de carga alcanzada al final de la carrera fue 1.40 m.
- Se hicieron mediciones y análisis del agua filtrada con intervalos de 8 horas. En

ninguno de ellos se encontró presencia de organismos parásitos. Sin embargo las muestras comenzaron a salir con arena, lo que significaba que el aumento de la tasa de filtración, y por tanto, la velocidad de filtración era muy alta, comenzando a fluidificar el medio filtrante.

- Se realizó el lavado del filtro y se necesitó 0.50 m. para ello, lo que representa el 3.22 % del agua filtrada, para poder obtener una expansión del medio filtrante del 20 % . El lavado del filtro se efectuó con descargas de 30 seg. para poder separar los granos de arena, seguido de pequeños flujos continuos para arrastrar el material desprendido del lecho filtrante.
- Se muestreó el agua de lavado y se encontró trofozoitos de protozoarios, quistes de protozoarios, huevos de helmintos y larvas de helmintos. La presencia de quistes de trofozoitos y huevos de helmintos se debió a que el tiempo de la carrera era menor y las especies mayores no se habían adaptado completamente al nuevo medio de vida, no pudiendo alimentarse con las especies inferiores.

Las características físico-químicas y bacteriológicas, del agua proveniente del R.A.F.A. (agua a filtrar) y del agua filtrada se presentan en el cuadro 4.5.5. Lo notable de estos resultados es que la remoción de coliformes totales y de coliformes fecales es muy baja. De igual manera, se hicieron pruebas de identificación de vibrio cholerae y fueron positivas tanto a la entrada como a la salida del filtro. Se obtuvo una

remoción de 72 % en la concentración de sólidos sedimentables. No se registró una remoción significativa en la DBO (sólo 21 %), sólidos fijos (2 %), sólidos volátiles (1 %) y se redujo la alcalinidad (1.5 %).

Las características físico-químicas y bacteriológicas del agua proveniente del lavado del filtro se presentan en el cuadro 4.5.6. Se registró presencia de organismos parásitos y una alta concentración de coliformes totales ($9 * 10^7$ NMP/100ml.) y fecales ($7 * 10^7$ NMP/100 ml.). En los aspectos físico-químicos no había variación notable con los del agua filtrada.

C U A D R O S

PARAMETROS	ENTRADA	R. A. F. A.
QUISTES	SI	SI
TROFOZOITOS	SI	SI
HUEVOS	SI	SI
LARVAS	SI	SI
COLIFORMES TOTALES	2.0×10^7 NMP/100 ml.	1.3×10^7 NMP/100 ml.
COLIFORMES FECALES	7.0×10^7 NMP/100 ml.	7.0×10^5 NMP/100 ml.
VIBRIO CHOLERAE	SI	SI
D. B. O.	134 PPM.	46 PPM.
SOLIDOS TOTALES	880 PPM.	645 PPM.
SOLIDOS VOLATILES	220 PPM.	83 PPM.
SOLIDOS FIJOS	660 PPM.	561 PPM.
SOLIDOS SEDIMENTABLES	169 ML/L/HORA.	36 ML/L/HORA.
ALCALINIDAD	---	295 PPM.

CUADRO 4.5.1. RESULTADOS DE LOS ANALISIS MICROBIOLOGICOS Y FISICO-QUIMICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES A LA ENTRADA DE LA PLANTA DE CARAPONGO Y A LA SALIDA DEL R.A.F.A.

COAGULANTE: SULFATO DE AL.

CONCENTRACION: 0.2 %

Dosis (ppm.)	Presencia de			
	Protozoarios		Helminths	
	Trofozoitos	Quistes	Larvas	Huevos
2.5	SI	NO	NO	NO
5.0	SI	NO	NO	NO
7.5	SI	NO	NO	NO
10.0	NO	NO	NO	NO
12.5	NO	NO	NO	NO
15.0	SI	NO	NO	NO

COAGULANTE: SULFATO DE AL.

CONCENTRACION: 0.5 %

Dosis (ppm.)	Presencia de			
	Protozoarios		Helminths	
	Trofozoitos	Quistes	Larvas	Huevos
2.5	SI	NO	NO	NO
5.0	SI	NO	NO	NO
7.5	SI	NO	NO	NO
10.0	SI	NO	NO	NO
12.5	NO	NO	NO	NO
15.0	NO	NO	NO	NO

CUADRO 4.5.2. Resultados de las pruebas de jarras, para la determinación de la dosis óptima de coagulante.

COAGULANTE: CLORURO FERRICO

CONCENTRACION: 0.2 %

Dosis (ppm.)	Presencia de			
	Protozoarios		Helminfos	
	Trofozoitos	Quistes	Larvas	Huevos
2.5	SI	SI	NO	NO
5.0	SI	SI	NO	NO
7.5	SI	SI	NO	NO
10.0	SI	SI	NO	NO
12.5	SI	NO	NO	NO
15.0	SI	NO	NO	NO

COAGULANTE: CLORURO FERRICO

CONCENTRACION: 0.5 %

Dosis (ppm.)	Presencia de			
	Protozoarios		Helminfos	
	Trofozoitos	Quistes	Larvas	Huevos
2.5	SI	SI	NO	NO
5.0	SI	SI	NO	NO
7.5	SI	SI	NO	NO
10.0	SI	SI	NO	NO
12.5	SI	SI	NO	NO
15.0	SI	SI	NO	NO

CUADRO 4.5.3. Resultados de las pruebas de jarras, para la determinación de la dosis óptima de coagulante.

COAGULANTE: CAT - FLOC

CONCENTRACION: 0.2 %

Dosis (ppm.)	Presencia de			
	Protozoarios		Helmintos	
	Trofozoitos	Quistes	Larvas	Huevos
1.0	SI	NO	NO	NO
2.0	NO	NO	NO	NO
3.0	SI	NO	NO	NO
4.0	SI	NO	NO	NO
5.0	NO	NO	NO	NO
6.0	NO	NO	NO	NO

COAGULANTE: CAT - FLOC

CONCENTRACION: 0.5 %

Dosis (ppm.)	Presencia de			
	Protozoarios		Helmintos	
	Trofozoitos	Quistes	Larvas	Huevos
1.0	SI	NO	NO	NO
2.0	SI	NO	NO	NO
3.0	NO	NO	NO	NO
4.0	SI	NO	NO	NO
5.0	NO	NO	NO	NO
6.0	NO	NO	NO	NO

CUADRO 4.5.4. Resultados de las pruebas de jarras, para la determinación de la dosis óptima de coagulante.

PARAMETROS	AFLUENTE	EFLUENTE
QUISTES	SI	NO
TROFOZOITOS	SI	NO
HUEVOS	SI	NO
LARVAS	SI	NO
COLIFORMES TOTALES	1.3×10^7 NMP/100 ml.	5.0×10^6 NMP/100 ml.
COLIFORMES FECALES	7.0×10^5 NMP/100 ml.	2.0×10^5 NMP/100 ml.
VIBRIO CHOLERAEE	SI	SI
D.B.O.	46 PPM.	36 PPM.
SOLIDOS TOTALES	645 PPM.	640 PPM.
SOLIDOS VOLATILES	83 PPM.	77 PPM.
SOLIDOS FIJOS	561 PPM.	550 PPM.
SOLIDOS SEDIMENTABLES	36 ML/L/HORA.	10 ML/L/HORA.
ALCALINIDAD	295 PPM.	290 PPM.
DEMANDA DE CLORO	---	5 PPM.

CUADRO 4.5.5. RESULTADOS DE LOS ANALISIS MICROBIOLOGICOS Y FISICO-QUIMICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES A LA ENTRADA Y SALIDA DE LA PLANTA PILOTO DE FILTRACION DIRECTA.

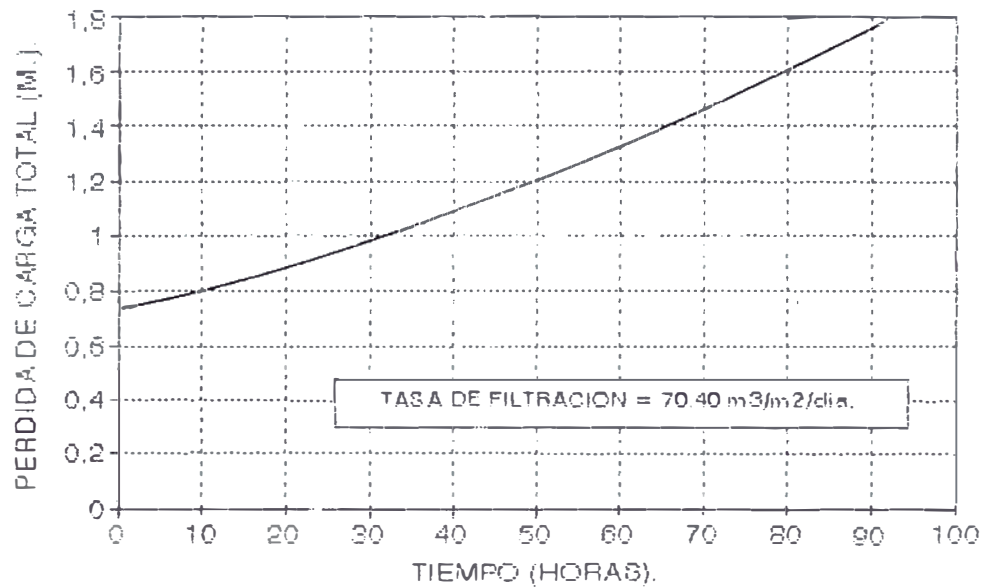
PARAMETROS	A. FILTRADA	A. LAVADO
QUISTES	NO	SI
TROFOZOITOS	NO	SI
HUEVOS	NO	SI
LARVAS	NO	SI
COLIFORMES TOTALES	5.0×10^6 NMP/100 ml.	9.0×10^7 NMP/100 ml.
COLIFORMES FECALES	2.0×10^5 NMP/100 ml.	7.0×10^7 NMP/100 ml.
VIBRIO CHOLERAEE	SI	SI
D.B.O.	36 PPM.	40 PPM.
SOLIDOS TOTALES	640 PPM.	680 PPM.
SOLIDOS VOLATILES	77 PPM.	130 PPM.
SOLIDOS FIJOS	550 PPM.	563 PPM.
SOLIDOS SEDIMENTABLES	10 ML/L/HORA.	18 ML/L/HORA.
ALCALINIDAD	290 PPM.	311 PPM.
DEMANDA DE CLORO	5 PPM.	---

CUADRO 4.5.6. RESULTADOS DE LOS ANALISIS MICROBIOLOGICOS Y FISICO-QUIMICOS DEL AGUA FILTRADA Y DEL AGUA DE LAVADO DEL FILTRO PILOTO.

G R A F I C O S

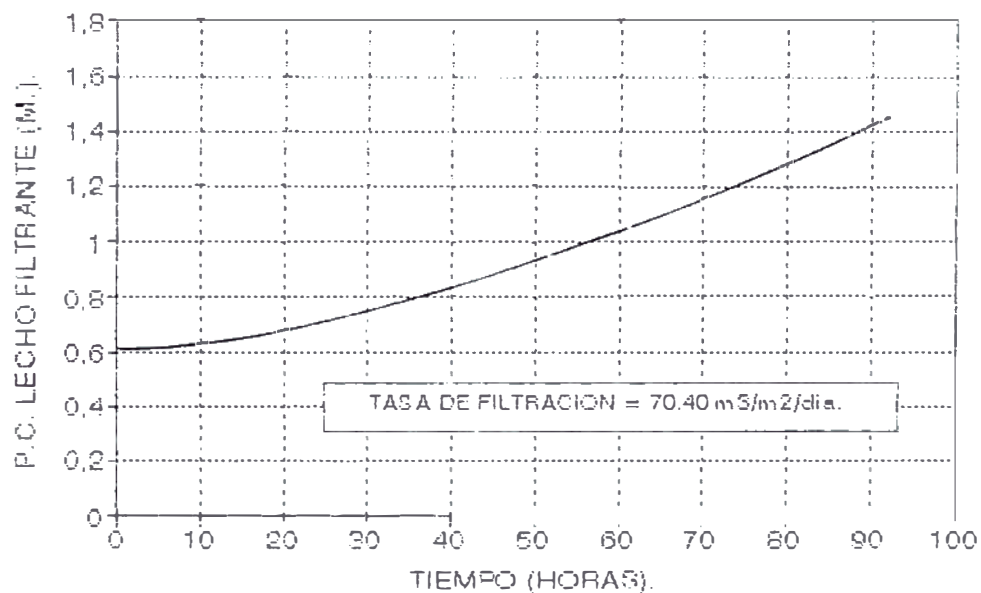
CAUDAL = 0.04 LT/SEG.

GRAFICO # 4.5.1.



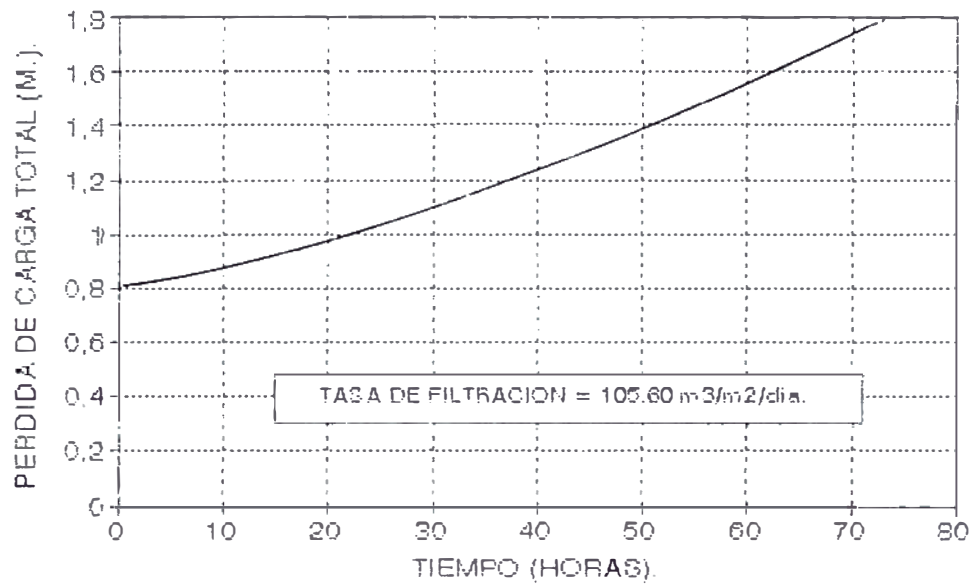
CAUDAL = 0.04 LT/SEG.

GRAFICO # 4.5.2.



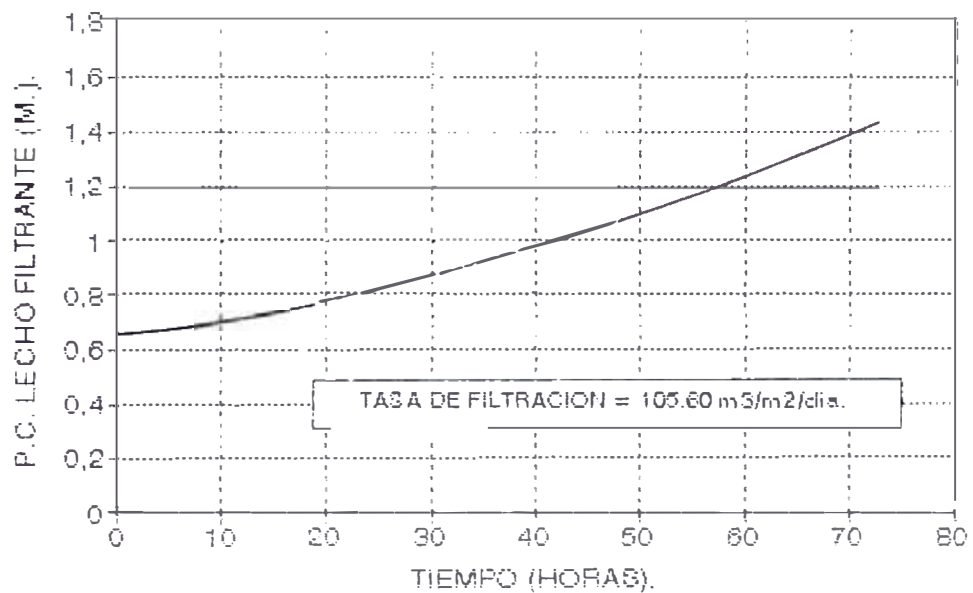
CAUDAL = 0.06 LT/SEG.

GRAFICO # 4.5.3.



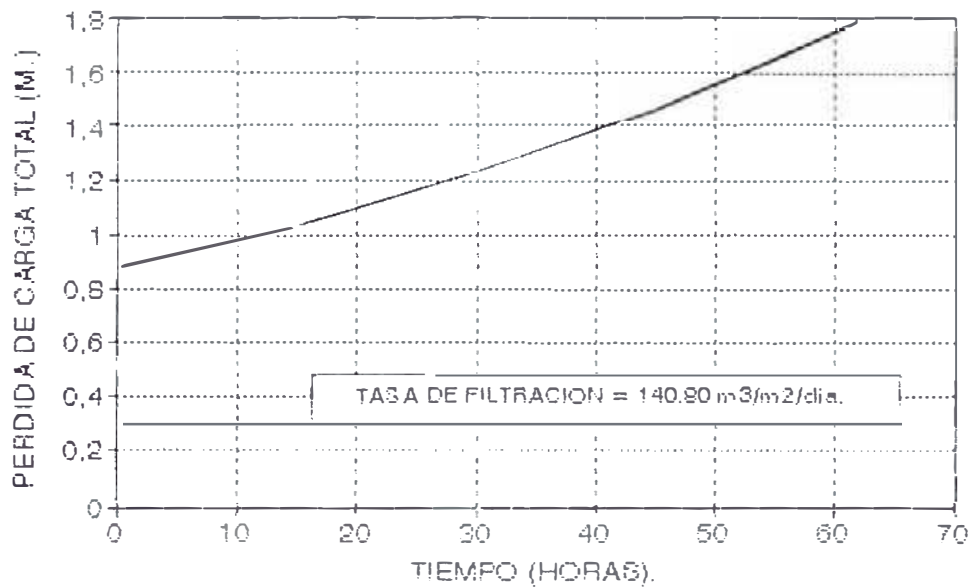
CAUDAL = 0.06 LT/SEG.

GRAFICO # 4.5.4.



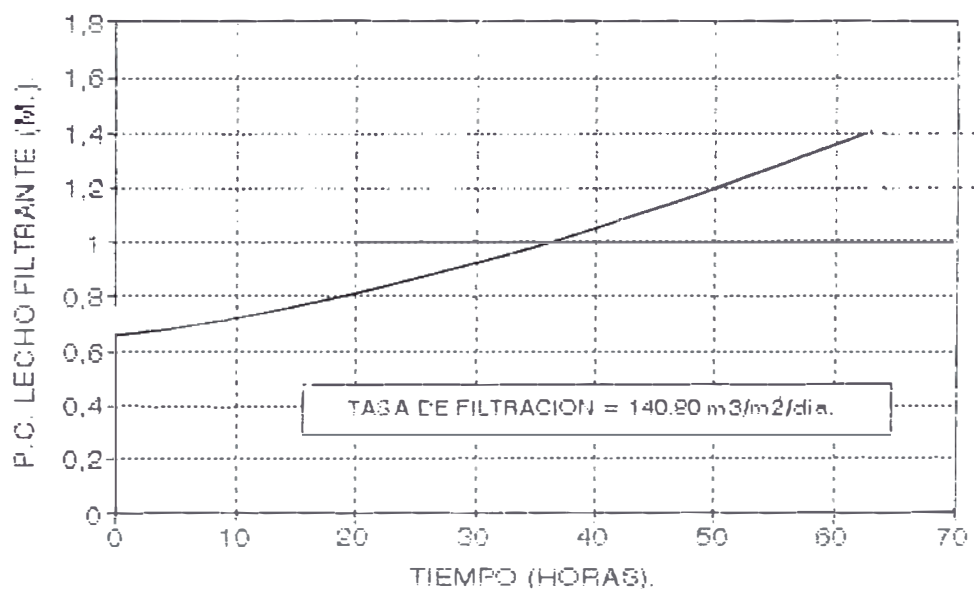
CAUDAL = 0.08 LT/SEG.

GRAFICO # 4.5.5.



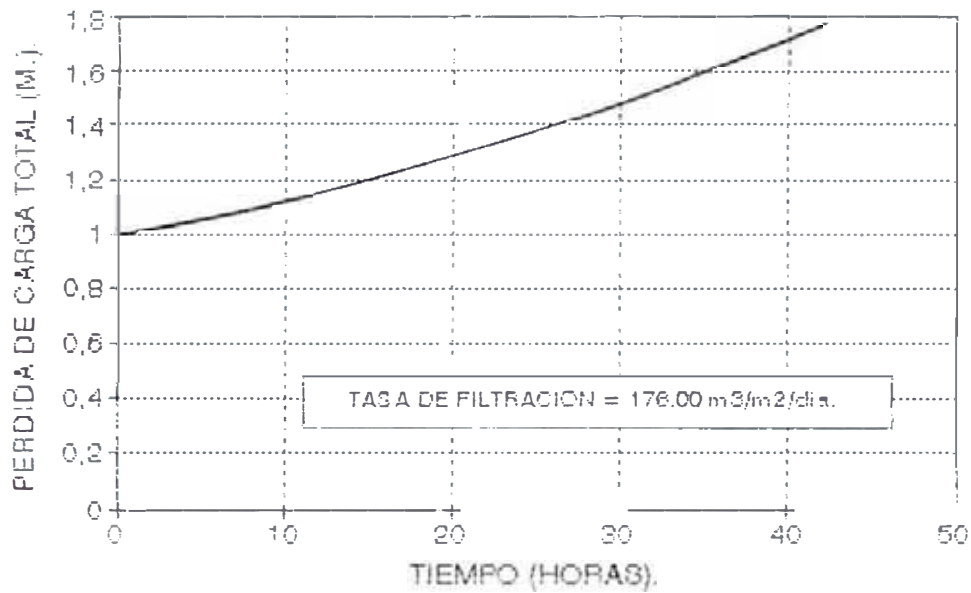
CAUDAL = 0.08 LT/SEG.

GRAFICO # 4.5.6.



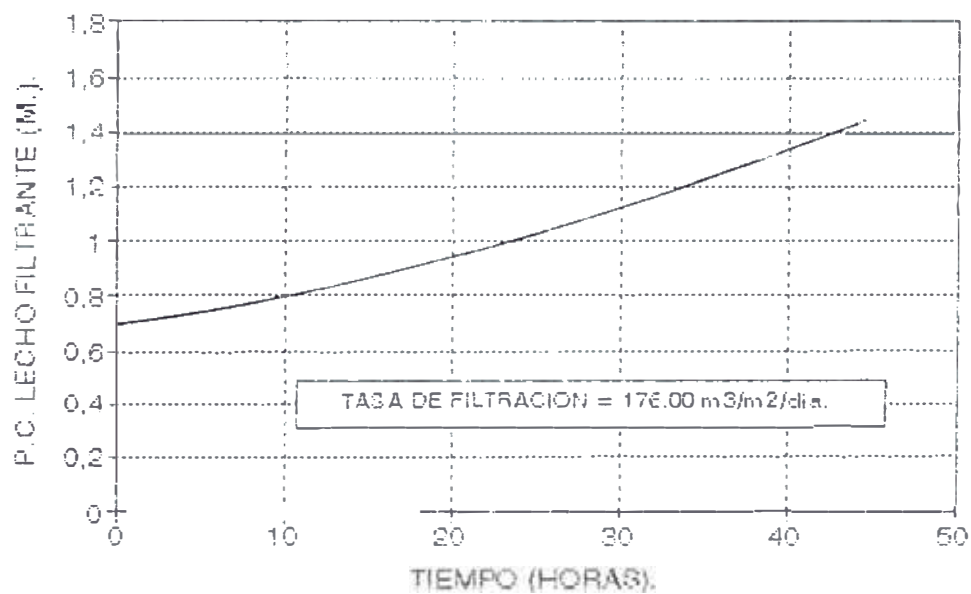
CAUDAL = 0.10 LT/SEG.

GRAFICO # 4.5.7.



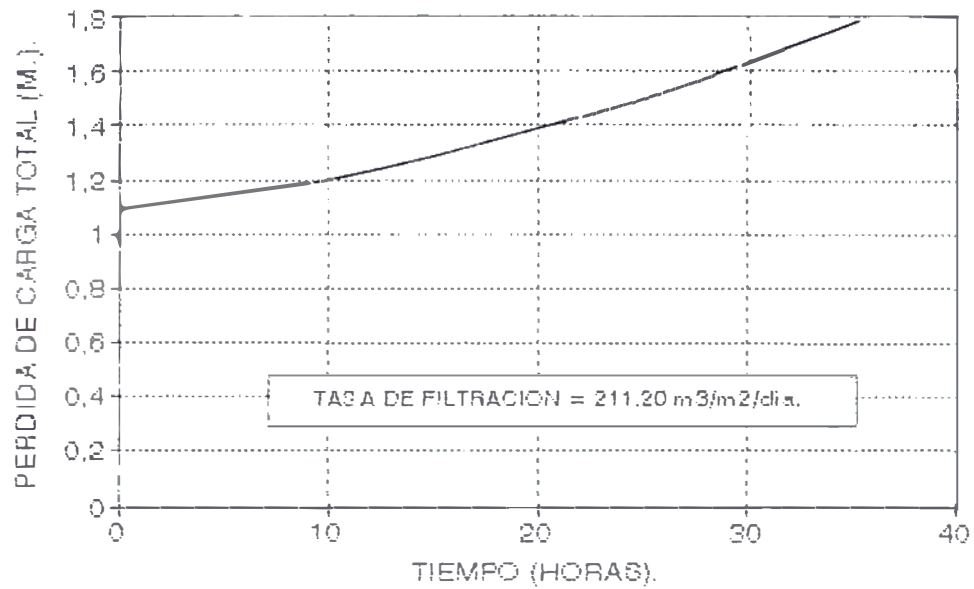
CAUDAL = 0.10 LT/SEG.

GRAFICO # 4.5.8.



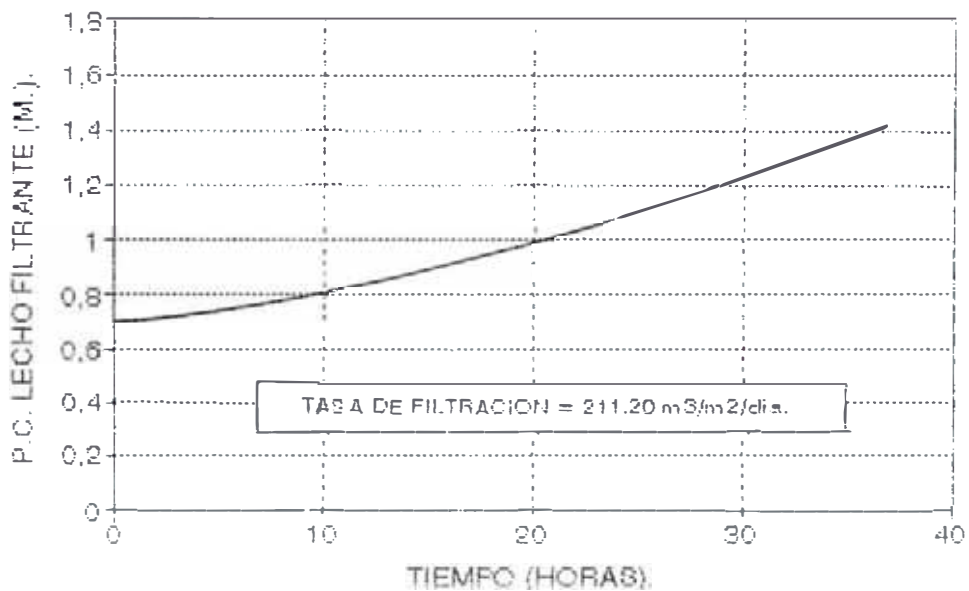
CAUDAL = 0.12 LT/SEG.

GRAFICO # 4.5.9.



CAUDAL = 0.12 LT/SEG.

GRAFICO # 4.5.10.



O B S E R V A C I O N E S

O B S E R V A C I O N E S

1. La dosis de polímero catiónico CAT-FLOC (2 mg/lt.) que fue necesaria en el tratamiento, fue la quinta parte de la que se hubiera necesitado si se hubiera utilizado Sulfato de Aluminio o Cloruro Férrico (10 mg/lt.).
2. No se detectó en ninguna de las muestras de agua filtrada presencia protozoarias y helmintos, ya que fueron retenidas en el lecho filtrante.
3. La remoción bacteriológica no fue significativa, como lo demuestran las pruebas de coliformes totales y fecales. Esto debido a que las bacterias son mucho más pequeñas que los parásitos, lo que dificulta su retención en el filtro, además que no tienen un comportamiento eléctricinético que facilite la acción del coagulante en su remoción.
4. Se detectó presencia de algas en el efluente cuando la tasa de filtración fue de $70 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$. Esto, debido a que dicho valor de tasa produce que la velocidad de filtración sea baja, originando períodos de retención mayores, propiciando el desarrollo de dichas algas en la parte superior del filtro. Esta situación genera que esta unidad se comporte como filtro lento.
5. Se detectó la presencia de arena en el agua filtrada cuando la tasa de filtración fue de $211 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$. Esto debido a que dicho valor de tasa producía una expansión de la arena del lecho, originando una pérdida de la misma en el momento de la filtración.

C O N C L U S I O N E S

C O N C L U S I O N E S

1. El tratamiento de las aguas residuales mediante la filtración directa de flujo ascendente, remueve los organismos parásitos. Como resultado de ello, el efluente obtenido cumple con las Directrices Sanitarias de la Organización Mundial de la Salud para el Uso de Aguas Residuales en Agricultura.
2. Por los resultados obtenidos, este método de tratamiento no es adecuado para la remoción de bacterias. Esto porque los valores remocionales no cumplen con las Directrices Sanitarias de la Organización Mundial de la Salud para el Uso de Aguas Residuales en Agricultura, y con el Reglamento de la Ley General de Aguas de nuestro país, en su capítulo correspondiente al "Uso de las Aguas Servidas con fines de Irrigación".
3. De los coagulantes utilizados, el que mejores resultados ha dado para la remoción de organismos parásitos, es el polímero catiónico denominado CAT-FLOC, con una dosis de 2 mg/lt. y una concentración de 0.2 %, para este tipo de agua residual.
4. Las tasas de filtración obtenidas, se encuentran dentro de un rango adecuado para el reuso agrícola de estas aguas residuales tratadas.

R E C O M E N D A C I O N E S

R E C O M E N D A C I O N E S

1. El método de tratamiento por Filtración Directa de Flujo Ascendente puede ser utilizado como tratamiento secundario, empleando como tratamiento primario un Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (R.A.F.A.).
2. El método de tratamiento por Filtración Directa de Flujo Ascendente, es recomendable para la remoción de organismos parásitos en aguas residuales, porque este tratamiento permite la completa eliminación de estos microorganismos.
3. El método de tratamiento por Filtración Directa de Flujo Ascendente, no es recomendable para la remoción de bacterias en aguas residuales, porque el filtro no retiene estos organismos.
4. Si bien es cierto, el agua que se utilizó para el lavado del filtro fue la misma que se deseaba tratar; es recomendable que el filtro sea lavado con agua filtrada, por ser de mejor calidad microbiológica y fisico-química, para ello se necesita un reservorio donde se pueda almacenar la cantidad de agua filtrada necesaria para realizar el lavado del filtro después de cada carrera de filtración.
5. Estudiar el paso de los lodos generados deben por un lecho de secado y luego ser utilizados como mejorador de suelos en la agricultura.
6. Si se deseara obtener un efluente de mejor calidad bacteriológica para el riego de hortalizas de consumo crudo, o el riego de parques y jardines de uso público, se requeriría efectuar la desinfección, de acuerdo con las pruebas de laboratorio que se han efectuado

referencialmente, se lograría con la dosificación de 5.5 ppm. de cloro y con un tiempo de contacto de 30 minutos, con lo que se obtendría la eliminación total de las bacterias del grupo coliforme. Por supuesto que el uso legal de estas aguas residuales tratadas, requeriría de la modificación de nuestra legislación vigente, cosa que no sería difícil de obtener, ante la evidencia de las pruebas efectuadas.

7. En vista que las características constructivas de la planta piloto no permiten mayores carreras de filtración, sería recomendable que trabajos posteriores profundicen este aspecto, haciendo énfasis en el uso de descargas de fondo para ello, así como el de realizar pruebas con otros tipos de arena con granulometrías diferentes, de manera de poder alcanzar tasas de filtración mayores a las obtenidas en este trabajo de investigación.
8. Como las características de las aguas residuales nunca son las mismas se recomienda, en caso de ser adoptado este método de tratamiento, realizar las pruebas de laboratorio para hallar la dosis óptima de coagulante y en lo posible previamente poner en marcha un filtro piloto para encontrar los valores reales para el diseño de una planta de mayores dimensiones.

B I B L I O G R A F I A

B I B L I O G R A F I A

- INAPMAS - Instituto Nacional de Protección del Medio Ambiente para la Salud. "Boletín Informativo". correspondiente al segundo semestre del año 1994. Lima, Perú. 1994.
- OMS - Organización Mundial de la Salud. "Directrices Sanitarias para el uso de aguas residuales en Agricultura y Acuicultura". 1982.
- OMS - Organización Panamericana de la Salud. "Las Condiciones de Salud en las Américas". Vol. I. Publicación Científica # 549. 1994.
- DIGESA - Ministerio de Salud. "Recopilación y Sistematización de las Condiciones Ambientales y Actividades Desarrolladas en el Control de la Epidemia del Cólera". Lima - Perú. 1994.
- CUANTO. "Anuario Estadístico". Lima - Perú. 1994.
- ELLIOT - CACERES. "Parasitología Médica del Perú". Lima - Perú. 1988.
- CACERES, Oscar. "Desinfección del Agua". OMS - Organización Panamericana de la Salud. Lima - Perú. 1990.
- SERVICIO NACIONAL DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO RURAL. "Agua como factor de vida". Buenos Aires - Argentina. 1981.
- INEI - Instituto Nacional de Estadística e Informática. "Censos Nacionales 1993. Perú: Resultados del Censo de Población". Lima - Perú.

- DIGESA - Ministerio de Salud - Dirección General del Medio Ambiente - Dirección de Protección del Medio Ambiente. "Contaminación de las Aguas en la Costa de Lima Metropolitana". Lima - Perú. 1984.
- PRONARDRET. "Diagnóstico del Uso de las Aguas Servidas con Fines de Riego de la Ciudad de Lima y Alrededores". Proyecto Nacional de Mejoramiento de Riego y Drenaje - Dirección de Aguas Servidas Tratadas - Ministerio de Agricultura. Perú. 1992.
- CEPIS. "Evaluación de Riesgo para la Salud por el Uso de Aguas Residuales en Agricultura". Resumen Ejecutivo. Lima - Perú. 1990.
- GOBIERNO DEL PERU. "Reglamento Sanitario para la Conseción de aguas negras, con fines de irrigación". D.S. Nº 84 - DGS del 16 de Junio de 1967.
- GOBIERNO DEL PERU. "Ley General de Aguas". D.L. Nº 17752 - Reglamento del Título III: "DE LOS USOS DE LAS AGUAS", en su Capítulo VIII: "DEL USO DE LAS AGUAS SERVIDAS CON FINES DE IRRIGACION". D.S. Nº 41-70-A.
- ARBOLEDA, Jorge. "Teoría, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del Agua". OMS Organización Panamericana de la Salud. Lima Perú. 1973.
- RIVAS MIJARES, Gustavo. "Tratamientos del Agua Residual". Biblioteca de la Acedemia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. Venezuela. 1967.

- DI BERNARDO, Luis. "Filtración Directa Ascendente". CETESB. Brasil. 1982.
- MALDONADO, Víctor. "Curso de Tratamiento de Aguas II". Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería. Lima - Perú. 1993.
- RONCAL VERGARA, Segundo Fausto. "Utilización de Almidones como Ayudantes de Floculación en el Tratamiento de Aguas para Consumo Humano". Lima - Perú.
- HAMANN, C.L. Y McKINNEY, R.E. - "Upflow Filtration Process". Jour. A.W.W.A., Denver, September, 1968.
- DIAPER, W.C. Y IVES, K.J. - "Filtration Through Size-Graded Media". Proc. ASCE - JOUR. San Eng. Div. Junio 1965.
- GRIMPLASTCH, B.S. - "Nova Técnica de Filtración en Uso no Brasil". VI Congreso de Engenharia Sanitaria. Sao Paulo, S.P., 1971.