



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM / C-11
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS INSTITUCIONALES

DIPLOMADO EN TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, MUNICIPALES, INDUSTRIALES Y DE REUSO.

MOD. II PRINCIPIOS DE POTABILIZACIÓN DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Del 31 de agosto al 08 de septiembre de 2001

APUNTES GENERALES

M. en C. Constantino Gutiérrez Palacios
Comisión Nacional del Agua
Agosto – septiembre /2001

e interpretar la información registrada, y 5) comunicar la información y conclusiones a la profesión.

Las preguntas que mejor contesta la investigación de laboratorio son, por necesidad, frecuentemente reduccionistas en carácter, es decir, dirigidas hacia un segmento pequeño del sistema bajo estudio. Aun cuando puedan proporcionar un informe que sea excitante para el investigador y colegas de mentes afines, y prueben ser útiles a largo plazo como elementos componentes del sistema que va a ser explorado, pueden no satisfacer las necesidades operacionales ni aislar los fenómenos más importantes, ni dar panoramas útiles dentro de los procesos generales. Por lo tanto, los ejecutantes de las ciencias aplicadas y los ingenieros tienen también la obligación de proseguir investigaciones operacionales en escala de banco y seguir las con estudios de comportamiento en plantas a escala piloto y a escala completa. Con estos medios, las variables controlables se incorporan casi inmediatamente a la economía de las empresas de ingeniería.

Operaciones unitarias

21-1. Definiciones

El concepto de operaciones unitarias encontró expresión, por primera vez, en el análisis de los procedimientos comunes desarrollados dentro de la ingeniería química. Como lo sugirió A. D. Little:¹ "Cualquier proceso químico, independientemente de la escala en que se lleve a cabo, puede resolverse en una serie de coordenadas de lo que puede ser llamado acciones unitarias. . . El número de estas operaciones unitarias básicas no es grande, y se puede encontrar un número comparativamente reducido de ellas en cualquier proceso particular." La clase de pensamiento que surgió a partir de este enunciado inicial ha contribuido, grandemente, al desarrollo de la ingeniería química, y con el transcurso del tiempo, al avance del tratamiento de aguas y aguas residuales. Entre sus principales contribuciones se encuentran: 1) un mejor entendimiento de los procesos y capacidades inherentes en tratamiento de agua y aguas residuales; 2) el desarrollo de modelos matemáticos y modelos físicos sencillos o análogos de los mecanismos de tratamiento; y su uso para identificar los componentes básicos del diseño de plantas de tratamiento; y 3) la coordinación de los procedimientos efectivos de tratamiento para obtener el comportamiento deseado de las plantas y la calidad del efluente.

Dentro del contexto de este libro, es un elemento esencial en el concepto de las operaciones unitarias; la aceptación del principio de que no existe

¹ A. D. Little, Report to the Corporation of MIT, citado en *Silver Anniversary Volume, Am. Inst. Chem. Engrs.*, 7 (1933). El Sr. Little (1863-1935) fue un pionero en ingeniería química y en administración industrial. Véase A. S. Foust, L. A. Wenzel, C. W. Clump, L. Maus, y L. B. Anderson, *Principles of Unit Operations*, Wiley, Nueva York, 1964, p. 4.

Son ejemplos: 1) la cloración del agua para la oxidación del ácido sulfhídrico a sulfatos; 2) la adición de cal al agua o su paso a través de trozos de mármol, piedra caliza o dolomita, para convertir el bióxido de carbono excedente de los requerimientos del equilibrio, a bicarbonato soluble; 3) la recarbonatación del agua suavizada por tratamiento con exceso de cal, para convertir el exceso de ésta a bicarbonato; 4) la sobrecloración del agua o la adición de bióxido de cloro para la oxidación de sustancias productoras de olor; 5) la remoción del exceso de cloro por agentes reductores, como el bióxido de azufre; 6) la adición de fosfatos complejos al agua para mantener el hierro en solución, y 7) la adición de lechada de cal, fosfatos complejos, o silicato de sodio para proteger a las superficies metálicas mediante el depósito de recubrimientos, o bien, para reducir la acción corrosiva del agua.

21-6. Transferencias de sólidos

En orden decreciente de tamaño, los sólidos se separan del agua, por cribado, sedimentación, flotación y filtración.

Cribado. Las cribas y rejillas retienen sólidos en suspensión y flotantes mayores que sus aberturas. Los materiales retenidos se separan para someterlos a tratamiento y evacuación. Los dispositivos trituradores, combinados con las rejillas y cribas convierten los materiales retenidos en sólidos finos, que normalmente, se regresan al agua para separarlos después junto con otros materiales sólidos en suspensión por sedimentación.

Son ejemplos: 1) la remoción de hojas, trozos de madera y otros residuos del agua mediante rejillas y cribas, así como el colado de las algas por rejillas microscópicas, y 2) la remoción de sólidos gruesos flotantes y en suspensión en las aguas residuales, por rejillas, y de otros materiales más finos, suspendidos mediante cribas. Son subproductos los materiales retenidos por las rejillas y cribas, que se separan para ser evacuados mediante sepultura, incineración, o digestión (incluyendo la producción de abono orgánico compuesto). La trituración *in situ* de los sólidos separados mediante cribas cortadoras, o el retorno de los sólidos triturados separadamente al agua residual fluyente, son métodos indirectos de evacuación de las coladuras. Estas forman parte de los lodos de las aguas residuales, y son tratadas y evacuadas junto con ellos. La filtración es, en parte, una operación de cernido o cribado.

Sedimentación. Para permitir la remoción de sólidos del agua por sedimentación, se reduce la potencia de arrastre y deslave del agua fluyente, hasta que las partículas suspendidas se sedimentan por gravedad al fondo de los tanques de retención, y no son resuspendidos por arrastre.

Son ejemplos: 1) la remoción de arena y limo pesado del agua en los tanques de sedimentación; 2) la colección de sólidos minerales pesados de las aguas residuales por sedimentación diferencial y arrastre (cámaras desarenadoras); 3) la remoción de sólidos sedimentables suspendidos en las aguas residuales, en los tanques de sedimentación, y 4) la remoción de aguas y aguas residuales, de sustancias no desimentables que se convierten en sedimentables por coagulación o precipitación. Los subproductos, conocidos como sedimentos, arenas o lodos, deben removerse de los dispositivos de sedimentación para su tratamiento y evacuación.

Flotación. En las operaciones de flotación, se reduce la potencia de transporte del agua fluyente por reposo o se vence el poder de suspensión por reposo y algunas veces por la adición de *agentes de flotación*. Las sustancias naturalmente más ligeras que el agua, o que se vuelven más ligeras que ella, ascienden a la superficie del agua y son retiradas por desnatado. Los agentes de flotación incluyen burbujas pequeñas de aire y compuestos químicos que, ya sea solos o en combinación, son con frecuencia agentes humectantes y espumantes hidrofóbicos.

Son ejemplos: 1) la remoción de grasa y aceite de las aguas residuales con o sin el beneficio de la aireación en tanques desnatadores que sirven al propósito primordial de la sedimentación; 2) el desprendimiento de burbujas finas de aire dentro de las aguas residuales ya sea por difusión de aire comprimido o por desadsorción del aire disuelto en el agua residual mediante reducción de la presión de la atmósfera superyacente, las burbujas se unen a las partículas suspendidas y les imparten boyantez para elevarlas a la superficie, y 3) la adición a las aguas y aguas residuales de agentes de flotación que se unen por sí mismos a los sólidos suspendidos sujetan los sólidos suspendidos a las burbujas de aire y elevan las partículas a la superficie. Los subproductos, que son las natas o espumas, se deben separar de la superficie de los dispositivos de flotación y enviarse a evacuación. Son ejemplos de agentes de flotación los detergentes aniónicos, neutros o catiónicos, así como los aceites, grasas, resinas y las gomas.

Filtración. Conceptualmente, la filtración combina al cribado, sedimentación y contacto interfacial para transferir los sólidos en suspensión, flóculos, a la superficie de los granos de arena, carbón mineral u otros materiales granulares, de los cuales se deben separar posteriormente.

Son ejemplos: 1) la filtración de agua a través de formaciones naturalmente permeables, en la recarga de aguas subterráneas; 2) la filtración lenta de aguas a través de los lechos de arena, cuyas superficies obstruidas se remueven sucesivamente por raspado, aunque no es frecuente, y se lavan antes de regresarlas al lecho; 3) la aún más lenta filtración de aguas residuales a través de lechos de arena (normalmente depósitos naturales) a la

que se permite reposar y reairearse entre cada alimentación, y 4) la filtración rápida de agua a través de lechos de arena, carbón mineral, u otros gránulos, ya sea uniformes o en combinaciones de capas estratificadas, las impurezas del filtro se lavan con agua solamente, con aire seguido de agua, o con agua y rastras mecánicas. El agua de lavado es un subproducto que se puede recuperar o que puede necesitar que se trate antes de descargarse al sistema de drenaje, a una masa receptora de agua o a la tierra. Un quinto ejemplo es la filtración de aguas residuales que con frecuencia proviene de viviendas sin alcantarillado o bien aisladas, a través de los estratos naturales del suelo después de la irrigación superficial o durante la irrigación subsuperficial.

21.7. Transferencia molecular o de nutrientes

En la purificación natural de las aguas y aguas residuales, los organismos saprófitos convierten las sustancias complejas, principalmente orgánicas, en material celular viviente y en materia más simple o más estable, incluyendo los gases de descomposición; y los organismos fotosintéticos convierten a las sustancias simples, principalmente inorgánicas, en material celular con la ayuda de la luz solar; el oxígeno y bióxido de carbono son los subproductos de su actividad.

Son ejemplos: 1) la destrucción o estabilización, esencialmente aeróbica, de la materia orgánica suspendida y disuelta por los organismos saprófitos que se multiplican en las masas contaminadas receptoras de agua; 2) la destrucción o estabilización esencialmente anaeróbica (también por medio de los organismos saprófitos) de las sustancias orgánicas depositadas sobre el fondo de las masas receptoras contaminadas, de agua, en espesores apreciables, y 3) la producción de algas y vegetación acuática mayor en presencia de nutrientes simples de plantas y luz solar. Estas tres acciones pueden ocurrir simultáneamente en las aguas contaminadas y, en general, así ocurren en las lagunas de estabilización para las aguas residuales. Los depósitos de fondo y los crecimientos de algas u otros organismos son los subproductos.

Contacto interfacial. En esta operación, se generan flóculos o limos biológicamente activos de organismos vivientes bajo condiciones aeróbicas, con el propósito de transferir los nutrientes putrescibles, principalmente los que se encuentran finamente divididos y disueltos, a las interfaces de flóculos, películas, limos o células. Algunos de los nutrientes favorecen el crecimiento de las células vivientes, y algunos suministran energía al sistema viviente. Algunos de los productos finales solubles y estables de la actividad biológica se devuelven al agua.

Son ejemplos: 1) el tratamiento biológico de las aguas negras en filtros rociadores; 2) la aireación de agua residual en las unidades de lodos activados; 3) la filtración de agua a través de filtros lentos de arena (sólo parcialmente), y 4) el tratamiento de aguas residuales en filtros intermitentes de arena y en campos de irrigación (también parcialmente). Son subproductos las películas biológicas descargadas intermitentemente por los filtros goteadores, en forma de sólidos sedimentables denominados humus de filtros rociadores, y en forma más o menos continua, por las unidades de lodos activados como exceso de lodo activado. La sedimentación secundaria es una operación adjunta común.

21.8. Operaciones misceláneas

Entre las operaciones misceláneas pueden citarse las siguientes:

La *desinfección* del agua, mediante la cual se destruyen los organismos vivientes potencialmente infecciosos.

Son ejemplos: 1) la cloración del agua y aguas negras (desinfección química), y 2) el hervido del agua (desinfección por calor).

El tratamiento con *sulfato de cobre* para control de algas.

La *fluoración* del agua para reducir la caries dental.

La *desalinización térmica*, mediante la cual se separa agua dulce del agua salada, ya sea por evaporación o por congelación. También se deben considerar otras operaciones de desalinización a este respecto.

21.9. Concentración y estabilización de sólidos

Estas son operaciones mediante las cuales se preparan los lodos que son subproductos de las plantas de tratamiento de aguas o aguas residuales para su evacuación. Los lodos de las plantas de aguas, sin embargo, raramente son suficientemente putrescibles para requerir tratamiento antes de ser descargados a los lechos de secado o a lagunas, sistema de drenaje, o masas receptoras de agua. Las operaciones componentes incluyen las siguientes:

El *espesamiento* concentra a los lodos mediante una agitación suficientemente larga para formar agregados que se sedimenten más rápidamente con un menor contenido de agua.

Por ejemplo, el espesamiento de lodos activados para aumentar su concentración de sólidos de 3 a 6 veces mediante una agitación de 8 a 12 hs, agregándose cloro, si es necesario, para impedir la descomposición. El subproducto es el licor desplazado.

La *centrifugación* de los lodos los concentra, alimentándolos ya sea intermitente o continuamente, para separar los sólidos del licor de lodo en que están suspendidos, el cual se convierte en un subproducto.

El *acondicionamiento químico* coagula los lodos y mejora sus características de deshidratación.

Por ejemplo, la adición de cloruro férrico al lodo de aguas residuales que va a ser deshidratado en filtros de vacío.

La *elutriación* separa de los lodos, por lavado, sustancias que interfieren física o económicamente en el acondicionamiento químico y la filtración por vacío.

Por ejemplo, la reducción en alcalinidad de los lodos digeridos, y con ella, la de las cantidades de productos químicos que es necesario agregar antes de la filtración. El agua elutriante es un subproducto.

La *flotación biológica* eleva el lodo a la superficie por efecto de los gases de descomposición. Esto concentra al lodo.

Por ejemplo, la flotación de lodos primarios durante cinco días a 35°C y la separación de la capa inferior de líquido, el cual es un subproducto.

La *filtración al vacío* extrae humedad de una capa de lodos por succión, el lodo que va a *deshidratarse* se sostiene sobre un medio poroso, tal como resortes en forma de espiral, o una tela sobre mallas.

Por ejemplo, la deshidratación de lodos activados acondicionados químicamente sobre un filtro de vacío de tambor rotatorio continuo. Se produce una pasta o torta de lodos. El licor de lodos que se separa es un subproducto.

El *secado al aire* elimina humedad de los lodos colocados sobre lechos de arena u otros materiales granulares. La humedad contenida se evapora al aire y drena hacia el lecho de secado.

Por ejemplo, el secado al aire de lodos de aguas negras bien digeridos sobre lechos de arena produciéndose una torta de lodos de adecuada consistencia paleable y friable. El subproducto es el licor que llega a los bajodrenes.

El *secado por calor* extrae humedad por calentamiento. Los lodos se pueden reducir a una humedad substancial.

Por ejemplo, el secado de lodos activados filtrados al vacío en un secador instantáneo continuo. Si los lodos se van a llevar al mercado, su contenido de humedad debe reducirse gradualmente hasta menos de 10%.

La *digestión de lodos* es la descomposición anaeróbica de éstos. La digestión va acompañada de gasificación, licuefacción, estabilización, destrucción de la estructura coloidal, y concentración, consolidación o desprendimiento de humedad. En general, los gases producidos incluyen, además del bióxido de carbono, metano combustible y, con menor frecuencia, hidrógeno.

Son ejemplos: 1) la digestión de los sólidos sedimentados en las fosas sépticas (simples o de doble piso) y 2) la digestión, en tanques separados y

calentados, de los sólidos separados de los tanques de sedimentación primaria o secundaria, o de ambos. Los componentes del gas combustible, que es un subproducto, se emplean para la agitación o calefacción del tanque de digestión, así como para compresión de aire y otros fines en la planta. Otro subproducto es el licor de los lodos.

La *combustión en seco o incineración* lleva a la ignición e incineración del lodo secado por calor a altas temperaturas, ya sea por sí solo o con combustible agregado.

Son ejemplos: 1) la incineración de lodos secados por calor y 2) la combustión de lodos secados por calor en los niveles inferiores de un horno de hogar múltiple, en cuyos niveles superiores se seca el lodo que va a incinerarse. El producto final de la incineración es ceniza mineral. Son subproductos los gases de la chimenea.

La *combustión húmeda* oxida los lodos húmedos a temperaturas cercanas a 540° F (282° C) y presiones de aire de 1,200 a 1,800 psig (82 a 122 kg/cm²). Son subproductos la suspensión efluente y los gases de escape.

Otras operaciones unitarias del tratamiento de lodos incluyen el acondicionamiento por calentamiento, congelación, o flotación física y la deshidratación por filtración a presión (en filtros prensa).

21-10. Coordinación de las operaciones unitarias

Las operaciones unitarias de la purificación de aguas y el tratamiento de aguas de desecho se introducen a las plantas de tratamiento, en muchas combinaciones y secuencias diferentes, para cumplir: 1) en las plantas de purificación de aguas, con las condiciones existentes de la calidad de las aguas crudas y los requerimientos del agua pura y 2) en las plantas de tratamiento de aguas residuales, con las condiciones que prevalecen respecto a concentración, composición del influente y la condición y especificaciones de la calidad del efluente. La selección y elaboración de las operaciones unitarias por emplear, constituye el *diseño del proceso* de las plantas de tratamiento.

Es una experiencia universal el hecho de que aunque los procesos de tratamiento pueden iniciarse como procesos discontinuos por lotes, inevitablemente se convierten en operaciones continuas cuando su tecnología se desarrolla en forma completa. El equipo que opera continuamente es más productivo y su comportamiento es relativamente constante en un punto determinado del sistema, aunque se puede requerir que las condiciones no sean constantes a todo lo largo del proceso.

Purificación de aguas. Con objeto de enfocar la atención hacia las combinaciones factibles de operaciones de tratamiento de aguas, se identi-

fican, en la tabla 21-1, los atributos del agua que son afectados por algunas operaciones unitarias y procesos de tratamiento convencionales. Ahí se indica el grado relativo de efectividad de cada operación unitaria por el número de signos positivos (+) hasta un límite de cuatro; los efectos adversos se muestran mediante signos negativos (-) también por grados; y los efectos indirectos se muestran por medio de paréntesis colocados alrededor de los signos. En las notas de pie de página se explican las limitaciones y otros factores.

Tabla 21-1. Atributos comunes del agua afectados por las operaciones unitarias y procesos de tratamiento de agua convencionales

Atributo	Aireación	Coagulación y sedimentación	Ablandamiento con cal-carbonato y sedimentación	Filtración lenta por arena sin (c)	Filtración rápida por arena precedida por (c)	Desinfección (cloración)
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
Bacterias	0	++	(+++) ^{1,2}	+++	++++	++++
Color	0	+++	0	++	++++	0
Turbidez	0	+++	(++) ²	+++ ³	++++	0
Olor y sabor	+++	(+)	(++) ²	++	(++)	+++ ⁵
Dureza	+	(---) ⁷	++++ ¹¹	0	(---) ⁷	0
Corrosividad	+++ ⁸	(---) ¹⁰		0	(---) ¹⁰	0
Hierro y manganeso	+++	+ ¹²	(++)	+++ ¹²	+++ ¹²	0

1) Cuando se producen valores muy altos de pH por tratamiento con exceso de cal; 2) por inclusión en los precipitados; 3) pero los filtros se destruyen con demasiada rapidez debido a turbideces altas; 4) no se incluyen los sabores de clorofenol; 5) cuando se emplea cloración a punto de inflexión cuando se utiliza sobrecloración seguida de descloración; 6) cuando 5) no se emplea en presencia de colores y sabores intensos; 7) algunos coagulantes convierten los carbonatos en sulfatos; 8) por remoción del bióxido de carbono; 9) por adición de oxígeno cuando éste es bajo; 10) algunos coagulantes desprenden bióxido de carbono; 11) variable, algunos metales son atacados cuando los valores de pH son altos; 12) después de la aireación.

Las operaciones combinadas en el tratamiento de aguas se ilustran en la Fig. 2-5, Vol. 1.

Tratamiento de aguas residuales. Es evidente, a partir de la tabla 20-2, por qué las operaciones unitarias del tratamiento de desecho deben aplicarse en diferentes combinaciones para satisfacer las condiciones particulares de la evacuación de aguas negras. El grado de tratamiento que se puede obtener mediante los procesos y operaciones componentes puede estimarse por medio de la tabla 21.2.

Se suponen discrepancias entre los valores generalizados y los resultados registrados. Los rendimientos no pueden ser altos, por ejemplo, cuando las plantas de tratamiento se encuentran sobrecargadas y parte de las aguas residuales se pasa directamente sin tratamiento, o cuando los lodos no pueden ser completamente tratados y una parte de ellos debe desecharse

al canal del efluente. También se debe dar atención al licor de lodos que es un subproducto de los tanques de digestión de lodos separados, del equipo mecánico de deshidratación de lodos, o de lechos ineficaces de secado. Con frecuencia, el licor tiene alto DBO y arruina el comportamiento de la planta, si se introduce al efluente sin tratamiento.

Aunque se puede alcanzar cualquier grado de tratamiento, que se desee mediante la combinación de operaciones unitarias subsecuentes, las consideraciones económicas gobiernan finalmente al diseño del proceso. Como regla general, puede esperarse que las plantas de tratamiento que incluyen tratamiento secundario mediante filtros rociadores o unidades de lodos activados, produzcan un efluente con DBO de 10 a 20 mg por l y un contenido de sólidos suspendidos menor de 30 mg por l. Por lo general, estos efluentes son estables por 10 o más días, en parte debido a su nitrificación incipiente. Puede asegurarse un tratamiento primario y parcial por modificación y selección de diferentes procesos de tratamiento.

Tabla 21-2. Rendimientos relativos de las operaciones y procesos de tratamiento de aguas negras

Operación o proceso de tratamiento	DBO a 5 días y 20° C	Remoción de sólidos en suspensión, %	Bacterias	DQO
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
Cribado fino	5-10	2-20	10-20	5-10
Cloración de aguas negras crudas o sedimentadas	15-30	...	90-95	...
Sedimentación simple	25-40	40-70	25-75	20-35
Precipitación química	50-85	70-90	40-80	40-70
Filtración por filtros rociadores, precedida y seguida por sedimentación simple	50-95	50-92	90-95	50-80
Tratamiento con lodos activados, precedido y seguido de sedimentación simple	55-95	55-95	90-98	50-80
Lagunas de estabilización	90-95	85-95	95-98	70-80
Cloración de aguas negras tratadas biológicamente	98-99	...

Las combinaciones de las operaciones utilizadas frecuentemente en la práctica se ilustran en la Fig. 3-11 Vol. 1.

Tratamiento de los lodos. Las combinaciones comunes de operaciones unitarias en la categoría de concentración y estabilización de sólidos son: 1) digestión de lodos procedentes de sedimentación libre, seguida de secado al aire; 2) concentración y acondicionamiento químico de los lodos activados antes de la filtración al vacío, y 3) incineración de una mezcla

de humus de filtros goteadores y lodos de sedimentación simple, después de la digestión, elutriación, acondicionamiento químico y filtración al vacío. A menudo, el licor de desecho procedente de los lodos de las aguas residuales es putrescible y alto en sólidos. Puede necesitarse la coagulación y concentración de los flóculos separados al preparar el efluente para evacuarlo.

21-11. Renovación de aguas o tratamiento terciario

Una creencia creciente es que la necesidad de agua de las municipalidades, industrias y agricultura está superando al suministro de aguas naturales, es decir, de aguas que han pasado a través de los arcos evaporativo y precipitativo del ciclo evaporativo. Por esto, se ha estimulado a la profesión para descubrir formas y medios que permitan una purificación más completa de todas las aguas que han completado su ciclo de uso en servicio del hombre. Por una parte, la forma en que la naturaleza purifica por evaporación todas las aguas necesarias parece permanecer fuera del alcance económico de la sociedad actual. Por otra parte, ni el tratamiento convencional de aguas residuales ni los procesos convencionales de purificación de aguas prometen alcanzar el equivalente a la evaporación y condensación de aguas. La remoción de 90 a 95% de los sólidos en suspensión, la DBO y la DQO de las aguas de desecho antes de la descarga de los efluentes a las aguas receptoras no se considera suficiente; así como tampoco la purificación natural subsecuente de las aguas receptoras, para ser usadas nuevamente por el hombre, es aceptada como suficientemente rigurosa para proporcionar los requisitos de seguridad y sabor, y la utilidad general de tales aguas. Los residuos de la síntesis de productos químicos orgánicos y de la diseminación de los biocidas químicos son nuevos contaminantes del ambiente. Es nueva, también, la longevidad del hombre, la cual lo sujeta a los productos químicos de esta clase durante más años que antes y que agravan, en tiempo y concentración, las amenazas contaminantes a que se encuentra expuesto.

Bajo tales circunstancias, parece conveniente efectuar una desviación de los procesos convencionales hacia otros no convencionales, junto con una intensificación de la acción compensadora dentro del ciclo de uso del agua. Se supone que una tecnología de renovación general de las aguas estará relacionada con: 1) la adición de una etapa terciaria al tratamiento primario y secundario de todas las aguas residuales; 2) el encarecimiento de la purificación natural de las aguas receptoras y de su mejor protección contra los flujos de tormentas, sus derrames y los drenajes agrícolas; 3) una administración más estricta de la calidad de las aguas regionales como parte del recurso total natural, y 4) la adición de procesos, altamente selec-

tivos, a los métodos disponibles de purificación para el abastecimiento de agua.

Las acciones componentes incluyen, además del uso exhaustivo, la exploración e intensificación de los procesos de tratamiento establecidos, algunos de los siguientes:

1. Un mayor énfasis sobre los procesos de adsorción, a causa de su habilidad para separar sustancias selectivamente y en cantidades diminutas. Por ejemplo, la adsorción de materias tóxicas, así como de olores y sabores del agua mediante carbones activados.

2. La introducción de una gama más amplia de oxidantes. Por ejemplo, la destrucción de olores y sabores, así como del color mediante el ozono.

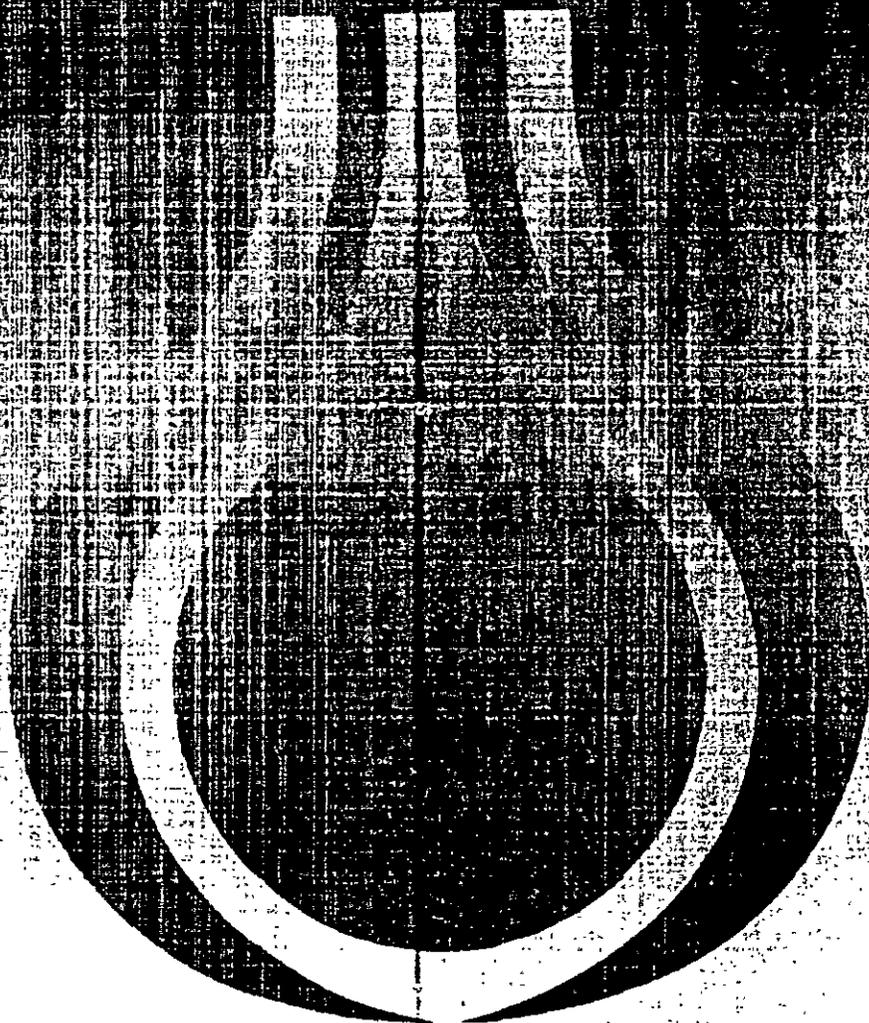
3. La exploración de la separación por espuma y el cultivo en espuma incluyendo la remoción de impurezas espumantes, tales como los detergentes sintéticos y la inyección intencional de agentes espumantes en una amplia variedad, con objeto de hacer ascender del agua, a los solutos y suspensiones indeseables.

4. La desmineralización del agua ampliada mediante electrodiálisis, intercambio iónico, ósmosis invertida, destilación y congelación.

La mayor parte de estos procesos ha encontrado ya lugar, hasta cierto grado, dentro de las prácticas de la purificación de aguas y el tratamiento de aguas residuales estudiadas en este libro. Se colocan aquí en una sola categoría para atraer la atención hacia la tendencia que existe en las necesidades de agua y las acciones probables que están estimulando en la administración de los programas en gran escala, sobre calidad del agua.

AGUA Y SALUD HUMANA

F. Eugene McJunkin



ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD
Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la
ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD



SECCIÓN 2

Enfermedades transmitidas a través del agua

INTRODUCCIÓN

Definición

Estas son enfermedades en las cuales el patógeno, es decir, un agente o microorganismo productor de enfermedad, ingresa al cuerpo como un componente pasivo del agua ingerida. En una definición pragmática, se deben incluir otros dos criterios:

1. Un porcentaje significativo de la enfermedad es transmitida por vía del agua ingerida y
2. como corolario, la eliminación del patógeno presente en el agua ingerida tendrá en muchos casos un impacto significativo sobre la incidencia de la enfermedad; en otras palabras, el suministro de agua potable segura tendrá un efecto significativo sobre la transmisión de la enfermedad.

Las enfermedades transmitidas por el agua pueden además categorizarse como aquellas originadas por organismos microbiológicos y aquellas producidas por sustancias tóxicas inanimadas suspendidas o disueltas en el agua. Una diferencia importante entre las dos subcategorías es que las enfermedades producidas por organismos microbiológicos generalmente se manifiestan en los individuos en episodios agudos, mientras que las producidas por sustancias químicas tóxicas pueden manifestarse tanto en forma aguda como en forma acumulativa crónica, dependiendo de su concentración en el agua.

Enfermedades microbiológicas transmitidas por el agua: transmisión fecal-oral

Muchas de estas enfermedades se transmiten por

vía “fecal-oral” o “ano-a-boca”. Las fuentes de agua potable son contaminadas por excretas humanas (o en algunas enfermedades “zoonóticas” por excretas de animales) evacuadas por alguien con una infección. Esa persona puede estar enferma o ser un “portador”. Un portador hospeda dentro de su cuerpo los organismos patógenos sin manifestar síntomas. Frecuentemente, los portadores son más importantes en la transmisión que las personas realmente enfermas. Mary “Tifoidea” Mallon es un ejemplo clásico. Trabajando como cocinera en casas y hospitales del estado de Nueva York hace medio siglo, Mary Mallon transmitió la fiebre tifoidea a miles de infortunadas víctimas.

La mayoría de las enfermedades de vía fecal-oral se manifiestan en el tracto intestinal, es decir, son “enfermedades entéricas”. El síndrome más frecuente es la diarrea, es decir, deposiciones sueltas frecuentes. El agente etiológico, es decir, el patógeno, podría ser uno de los muchos organismos candidatos, incluyendo a los virus. Estas enfermedades también pueden propagarse a otras partes del cuerpo.

Otras vías

Los animales también transmiten algunas enfermedades relacionadas con el agua. La leptospirosis, por ejemplo, puede transmitirse por vía de agua contaminada por la orina de ratas infectadas. La tularemia puede transmitirse por la orina de conejos infectados.

La filaria o dracontiasis, una enfermedad importante aunque localizada, se transmite exclusivamente a través del agua ingerida. Los huevos de la lombriz ingresan al agua procedentes de la lombriz

madre cuando ésta sale de la piel de una persona infectada que está recolectando agua en un pozo, un estanque o una corriente no protegidos. Los huevos son ingeridos por un pequeño crustáceo de la especie de los *ciclopodos* que habita en el agua, desarrollándose hasta su etapa de infección. El hombre ingiere los copépodos infectados al beber agua de la fuente contaminada. Las larvas de la filaria se liberan durante la digestión y migran a través de las vísceras hacia los tejidos subcutáneos debajo de la piel. Desde aquí, la lombriz hembra grávida sale a través de una ampolla ulcerada en la piel, descargando los huevos en el agua y reiniciando el ciclo.

Enfermedades transmitidas por el agua mediante agentes químicos o físicos

Las enfermedades debido a agentes químicos o físicos son causadas por la ingestión de agua que contiene sustancias dañinas o tóxicas. No es común que el daño sea agudo sino que normalmente se presenta luego de una ingestión a largo plazo de bajas concentraciones. Muchas de las sustancias tóxicas provienen de actividades del hombre, como la aplicación de pesticidas. Otras pueden presentarse en forma natural —el arsénico es un ejemplo, afortunadamente poco frecuente.

En los Estados Unidos, la atención de las investigaciones se ha centrado recientemente en el papel que desempeña el abastecimiento de agua en la incidencia del cáncer y de enfermedades cardíacas. Existirá una relación entre algunos tipos de cáncer y la gran cantidad de productos químicos orgánicos que encuentran su vía de acceso en los sistemas de abastecimiento de agua de las áreas industriales. ¿Estarán las enfermedades cardíacas relacionadas con la dureza del agua u otros parámetros de calidad del agua? Hasta el momento, los estudios son conflictivos y controversiales. Aun bajo los supuestos más negativos, sólo un reducido número de personas se verían afectadas. El costo de eliminar algunos productos químicos del agua potable requeriría enormes inversiones.

En los países pobres, donde mueren grandes cantidades de niños debido a enfermedades convencionales transmitidas por el agua, la prioridad se manifiesta en "un abastecimiento adecuado para la mayoría más que un abastecimiento perfecto para las minorías". En muchos lugares, todo el problema podría obviarse con una selección juiciosa de las fuentes de agua.

Resumen de las enfermedades transmitidas por el agua

El cuadro 2-1 resume las enfermedades transmitidas por el agua. En un orden aproximado, las más importantes son las enfermedades diarreicas, el cólera, la tifoidea, la disentería bacilar o shigelosis, la filaria y la leptospirosis. Las diarreas frecuentemente no son específicas, pero en la mayoría de los casos los agentes son bacterias *E. coli* y virus entéricos, particularmente los rotavirus.

AMEBIASIS

Introducción

Aunque el término amebiasis realmente significa infección con amebas, por lo general, dicha palabra se utiliza para designar la infección del intestino grueso, producida por la *entameba histolytica*, ya que es la única de las seis especies de amebas que parasitan naturalmente en el intestino humano que causa una enfermedad significativa. No obstante, la *Dientameba fragilis* aparentemente puede causar síntomas intestinales leves.

La amebiasis se encuentra en todo el mundo; afectando quizás a un 10% de la población mundial. La prevalencia en áreas con higiene o saneamiento deficiente es mucho mayor, frecuentemente un 30%, y en algunos países en vías de desarrollo llega hasta un 83% (OMS, 1969).

En la mayoría de los individuos afectados, la amebiasis se encuentra en un estado portador asintomático, pero puede producir enfermedades que van desde diarreas crónicas leves hasta disenterías fulminantes. Pueden presentarse complicaciones extraintestinales a través de la propagación de amebas por vía de la corriente sanguínea o de una ulceración y perforación intestinal causadas por la ameba invasora. Las complicaciones más frecuentes son abscesos al hígado y peritonitis. El índice de casos fatales generalmente es menor del 5% (Plorde, 1977).

Transmisión

El hombre se contagia con la *E. histolytica* al ingerir los quistes (los únicos portadores del contagio) que llegan a su boca a través de alimentos, agua y otros objetos contaminados fecalmente, por ejemplo, los dedos. La transmisión es mayor en áreas con saneamiento deficiente.

Cuadro 2-1 Enfermedades transmitidas por el agua¹

<i>Fuentes microbiológicas enfermedad o síndrome³</i>	<i>Vías de tipo fecal-oral²</i>
<i>Disentería amébrica</i> (Amebiasis)	Epidémicamente es transmitida principalmente a través del agua, endémicamente se propaga a través del agua, alimentos y contacto mano-a-boca. Es resistente a la cloración.
Ascariasis (Lombriz gigante)	Generalmente transmitida a través del suelo, pero también en ocasiones por el agua.
<i>Disentería bacilar</i> (Shigellosis)	También a través de comidas, leche, moscas y contacto directo.
Disentería balantidial (Balantidiasis)	Epidémicamente, principalmente a través del agua. Endémicamente, a través de agua, comidas y moscas.
Enteritis campilobacteriana	Sólo recientemente se le ha reconocido como una causa importante de la diarrea pediátrica.
<i>Cólera</i> (Clásico y El tor)	Enfermedad clásica transmitida por el agua. Actualmente pandémica. Alto índice de mortalidad en los casos no tratados.
Coccidiosis	Rara, benigna.
<i>Diarreas</i> (Incluye diarreas infantiles y gastroenteritis)	Síndromes clínicos de etiología variada, generalmente no identificada, ataca especialmente en los países menos desarrollados donde aparece con frecuencia como una de las principales causas de muerte. Principalmente de vía fecal-oral.
<i>E. coli</i> (Enteroinvasiva, enteropatógena y enterotóxica)	Creciente comprensión de su rol en las diarreas de niños y viajeros.
<i>Virus entéricos</i>	Muchos son patógenos. Su rol no es bien comprendido. Pueden causar enfermedades del sistema nervioso central.
<i>Giardiasis</i> Virus de hepatitis A.	Recibe cada vez mayor atención. Es resistente a la cloración. Varias rutas de transmisión. Incluyendo la fecal-oral. En 1955-56 se produjo en Nueva Delhi una epidemia de 30,000 casos.
Anquilostomiasis y estrongiloidiasis	Normalmente, la larva del suelo penetra en la piel desnuda, generalmente del pie. También puede transmitirse por agua.
Enfermedad hidatídica (Echinococcosis)	Se transmite mediante la ingestión de huevos infectados en agua y alimentos contaminados por heces de perros.
<i>Otros vibriones aparte del cólera</i>	Cada vez más reconocidos como una causa de diarreas.
<i>Infección viral Norwalk</i>	Aparentemente, una causa significativa de diarreas.
<i>Fiebre paratifoidea</i>	Contacto directo o indirecto con heces y orina de paciente o portador. Generalmente se propaga indirectamente a través de alimentos, especialmente leche y mariscos, y ocasionalmente a través del suministro de agua.
Poliomielitis	Se ha observado transmisión vía agua, pero es rara.
<i>Infección de rotavirus</i>	Agente de diarrea infantil recientemente identificado. Probablemente fecal-oral.
<i>Salmonelosis</i>	Enfermedad gastroenterítica aguda, infecciosa; generalmente se propaga a través de alimentos contaminados fecalmente. Se sabe de epidemias transmitidas por agua; por ejemplo, 15,000 casos en Riverside, California, en 1966, debido a la contaminación de un sistema público de agua.
Esquistosomiasis	Puede transmitirse a través del agua, pero la penetración por la piel es la principal puerta de entrada.
<i>Diarrea de viajeros</i>	Frecuentemente causada por uno de los muchos serotipos de bacteria <i>E. coli</i> .
Tricuriasis (Lombriz latigoforme)	Generalmente se transmite por el suelo, pero ocasionalmente también por el agua.
<i>Fiebre tifoidea</i>	Se transmite a través de agua y alimentos contaminados. Los portadores urinarios son frecuentes en áreas con <i>S. hematobium</i> .
Yersinosis	De alcance mundial, pero escasamente reconocida.

¹ Transmitidas por ingestión de agua potable contaminada.

² En algunas enfermedades de vía fecal-oral, los organismos patógenos pueden encontrarse también en la orina (como en la tifoidea) o en el vómito (como en el cólera).

³ Las enfermedades de mayor importancia se encuentran en cursivo.

Cuadro 2-1 (Continuación).

<i>Otras vías</i>		
<i>Enfermedad o síndrome</i>	<i>Observaciones</i>	
Antrax	Transmisión por agua potable, dudosa, aunque citada por varios autores.	
Brucellosis	Dokumentada, pero probablemente muy escasa.	
Cisticercosis	Ingestión de los huevos a través de alimentos o agua. Infección larval con <i>T. solium</i> . Otras vías de transmisión. Enfermedad grave.	
(Lombrices de la vejiga)		
Gongilonomiasis	Rara. Ingestión de agua que contiene larvas de insectos huéspedes desintegrados.	
(Lombricilla filiforme escutiforme)		
Filariasis	Ruta de transmisión compleja con vector intermedio (ciclópodo). No utiliza vía fecal-oral. Se encuentra sólo en los países en vías de desarrollo y se transmite sólo por agua.	
(Dracontiasis)		
Sanguijuelas (Hirudiniasis)	Infestación a través de sanguijuelas acuáticas de corta edad.	
<i>Leptospirosis</i>	Una zoonosis. Su transmisión más frecuente es por el contacto de la piel con agua contaminada.	
(Enfermedad de Weil)		
Enfermedad del tremátodo	Ocasionalmente por ingestión de agua potable que contiene metacercaria de pescado descompuesto. La mayoría de casos se da por comer pescado crudo.	
(Clonorchiasis y otras)		
Melioidosis	Rara. Sudeste asiático.	
Sparganosis	Ingestión de agua que contiene ciclópodos infectados con ciertas larvas cestodas. Otras rutas de transmisión.	
<i>Tularemia</i>	Ingestión de agua no tratada de cuencas donde dicha infección predomina entre los animales silvestres; los conejos constituyen uno de los varios mecanismos de transmisión.	
<i>Fuentes químicas y otras</i>		
<i>Fuente</i>	<i>Enfermedad o síndrome</i>	<i>Observaciones</i>
Metales	Toxicosis	Ingestión de metales (provenientes de fuentes naturales o de actividades humanas) con el agua potable, los alimentos o el aire. Estos incluyen arsénico, cadmio, cobre, cromo, plomo, mercurio, selenio, vanadio, zinc y otros. Puede ser de importancia a nivel regional: por ejemplo, el arsénico en lugares de la Argentina.
Productos químicos orgánicos	Toxicosis, cánceres, mutaciones y defectos congénitos	Ingestión de ciertos productos químicos, especialmente ciertas sustancias químicas orgánicas sintéticas, incluyendo algunos pesticidas. También algunos subproductos trihalometanos de la cloración son posibles cancerígenos. En la actualidad no representa un problema de alta prioridad en los países subdesarrollados.
Radionúclidos	Cánceres	Radioactividad natural y artificial. En la actualidad no son de alta prioridad en los países subdesarrollados.
Dureza	<i>Enfermedades cardiovasculares</i>	Cierta evidencia epidemiológica indica una correlación inversa entre las enfermedades cardiovasculares y la dureza del agua potable.
Otras	Fluorosis	Daño producido en los dientes y en los huesos como resultado de la ingestión a largo plazo de altas concentraciones de fluoruros naturales.
	Metahemoglobinemia	Grave, algunas veces conduce a un envenenamiento mortal en los niños que ingieren agua de pozos con contenido de nitratos (NO ₃) en concentraciones mayores a 45 mg/litro

Cuadro 2-1 Enfermedades transmitidas por el agua¹

Fuentes químicas y otras		
Fuente	Enfermedad o Síndrome	Observaciones
	Bocio endémico, asbestosis y mesotelioma Hipertensión	Agua deficiente en yodo o con bociógenos. Se sabe que el asbesto en los pulmones produce cáncer. Aún no se conoce su efecto en el tracto intestinal. Se requieren dietas bajas en sodio para ciertos sectores de la población.

Entre las posibles fuentes de contagio tenemos la contaminación del agua utilizada para beber y preparar comidas, el uso de excrementos como fertilizantes para vegetales que se comen crudos, la falta de lavado de las manos, especialmente en el caso de personas encargadas de manipular alimentos y la contaminación mecánica de los alimentos por parte de moscas y cucarachas. El estado general de salud y nutrición de la población afectada es un factor importante en la gravedad de la enfermedad. De igual manera, los tipos de *E. histolytica* aislados en áreas tropicales generalmente son más virulentos que aquellos de zonas templadas (OMS, 1969).

Abastecimiento de agua

Ciertos factores son relevantes para comprender el rol que desempeña el abastecimiento de agua en la transmisión y prevención de la amebiasis:

1. La amebiasis se manifiesta principalmente en forma endémica. El período de incubación varía desde unos cuantos días hasta varios meses o años, aunque lo más común es que dure de 2 a 4 semanas. Por lo tanto, los "picos" epidémicos casi no son visibles y con frecuencia pasan despercebidos por la comunidad. Además, muchas personas hospedan la *E. histolytica* sin desarrollar la enfermedad, pero pueden ir transmitiendo los quistes durante años. De igual manera, múltiples fuentes de infección son comunes.
2. Un abastecimiento de agua contaminado con *E. histolytica* puede dar como resultado una epidemia de amebiasis. El primer brote reconocido como transmitido por el agua ocurrió en 1933 en Chicago, donde una conexión cruzada dió como resultado una epidemia de 1,409 casos con 98 muertes (Bundesen 1936).

A pesar de brotes espectaculares de este tipo, la mayoría de casos tienen como origen probablemente una contaminación acumulativa y crónica. Sin embargo, estas epidemias sirven para recordar la necesidad de supervigilar la calidad del agua potable.

3. Los quistes de *E. histolytica* pueden sobrevivir durante semanas en el agua.
4. Los quistes sobreviven a la cloración normal. Para garantizar su eliminación, se requiere de una filtración preferentemente a través de tierra diatomea (Chang y Fair, 1941).
5. El "refrescamiento" de los vegetales crudos mediante el rociado de agua contaminada con quistes puede derivar en una transmisión.
6. Es importante el lavado de las manos luego de la defecación.

Existe poca información cuantitativa disponible sobre la relación existente entre amebiasis y abastecimiento de agua. Un estudio en Lagos, Nigeria (Oyerinde y otros, 1979) estimó que la prevalencia de la amebiasis en personas que tenían agua de grifo en sus viviendas era del 12.6%. El índice entre aquellos que bebían agua de pozo era del 23.4%. Los autores sugieren que el mayor índice de prevalencia de la amebiasis entre los usuarios de agua de pozo podría tener como causa la contaminación originada por las letrinas de foso cercanas a los pozos y por los recipientes usados para extraer el agua. Aquellos que utilizan papel higiénico para la limpieza luego de la defecación presentan un índice de infección menor (5.5%) que los que emplean agua (14.6%).

Bibliografía sobre amebiasis

- Boyd, John. "Some Observations on Human Amoebiasis" (Algunas observaciones sobre la amebiasis humana). *Lancet*

- Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 64: 1-13, 1961.
- Bundesen, Herman N. y otros. "Epidemic Amebic Dysentery. The Chicago Outbreak of 1933" (Disentería amebica epidémica. La epidemia de Chicago de 1933). *National Institute of Health Bulletin* No. 166. 187 págs., más 3 gráficos. 1936.
- Chang, Shih Lu. "Viruses, Amebas and Nematodes and Public Water Supplies" (Virus, amebas y nemátodos y abastecimientos de agua). *Journal American Water Works Association*. 53: 288-296. 1961.
- Chang, S.L. y Fair, Gordon M. "Viability and Destruction of the Cysts of *Endameba histolytica*" (Viabilidad y destrucción de los quistes de *Endameba histolytica*). *Journal American Water Works Association*. 33(10): 1705-1715, 1941.
- Dive, D., Picard, J.P. y Leclerc, H. "Les Amibes dans les Eaux d'Alimentation: Evaluation des Risques". *Annales de Microbiologie* 130A(4): 487-498. 1979.
- Faust, E.C. Amebiasis. Charles C. Thomas, Springfield, Ill. 154 págs. 1954.
- Juniper, Kerrison, Jr. "Amebiasis". Capítulo 63 en: Hoeprich, Paul D., editor. *Infectious Diseases*, segunda edición, Harper & Row, impresores. Hagerstown, Md. págs. 575-582. 1977.
- Le Maistre, Charles A., Sappenfield, Robert, Culbertson, Carl, Carter, F.N.R., Offutt, Andrew, Black, Harold y Brocke, Marion M. "Studies of a Water-Borne Outbreak of Amebiasis, South Bend, Indiana. I. Epidemiological Aspects" (Estudios sobre una epidemia de amebiasis transmitida por agua en South Bend, Indiana. I. Aspectos epidemiológicos). *American Journal of Hygiene*. 64: 30-45. 1956.
- MacFadzean, James A. y Pugh, I.M.L. "Ameobiasis". Capítulo 24 en: Cruickshank, Robert y otros, *Epidemiology and Community Health in Warm Climate Countries*. Churchill Livingstone, Edimburgo. págs. 279-289. 1976.
- Monroe, Lee S. "Amebiasis" en: Bockus, Henry L., editor, *Gastroenterology*, Vol. 4., tercera edición. W.B. Saunders Co., Filadelfia. págs. 195-219. 1976.
- Newton, Walter L. "Water Treatment Measures in Control of Amebiasis" (Medidas de tratamiento de agua en el control de la amebiasis). *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 6: 487-498. 1957.
- Offutt, Andrew C., Poole, Blucher A. y Fassnacht, George G. "A Water-Borne Outbreak of Amebiasis" (Una epidemia de amebiasis transmitida por agua). *American Journal Public Health*. 45: 488-491. 1955.
- Organización Mundial de la Salud. "Amoebiasis". Technical Report Series No. 421. Ginebra. 52 págs. 1969.
- Oyerinde, J.P.O., Alonge, A.A., Adegbite-Hollist, A.F. y Ogunbi, O. "The Epidemiology of *Entamoeba histolytica* in a Nigerian Urban Population" (La epidemiología de la *entoameba histolytica* en una población urbana de Nigeria). *International Journal of Epidemiology*. 8(1): 55-59. 1979.
- Platou, R.V. y Beaver, P.C. "Intestinal Protozoa" (Protozoarios intestinales). En: Jelliffe, D.B., editor. *Diseases of Children in the Subtropics and Tropics*, William & Wilkins Co., Baltimore. págs. 429-434. 1970.

Florde, James J. "Amebiasis". Capítulo 214 en: Thorn, George W. y otros, editores, *Harrison's Principles of Internal Medicine*, octava edición, McGraw-Hill Book Co., Nueva York. págs. 1066-1971. 1977.

Singh, B.N. *Pathogenic and Non-Pathogenic Amoebae (Amebas patógenas y no patógenas)*. John Wiley & Sons. Nueva York. 235 págs. 1975.

DISENTERÍA BACILAR (SHIGELOSIS)

Introducción

La shigelosis es una enfermedad aguda, principalmente del intestino grueso, caracterizada por presentar diarreas, fiebre, náuseas, algunas veces calambres, vómitos y tenesmo. La shigelosis es una enfermedad grave con un índice significativo de mortalidad, especialmente en infantes y niños. Existen cuatro especies en su género: *Shigella Dysenteriae*, *S. flexneri*, *S. boydii* y *S. sonnei*. El tipo 1, *S. dysenteriae*, es el "bacilo shiga", aislado por Kiyoshi Shiga durante una severa epidemia que azotara al Japón en 1897, y que está asociado a un índice de mortalidad del 25%. La *S. dysenteriae* desapareció virtualmente después de 1920, hasta su reaparición en Centroamérica en 1969, con un estimado de 112,000 casos, de los cuales murieron, sólo en Guatemala, 8,300 durante los primeros 10 meses (Gangarosa y otros, 1970). La *S. sonnei* y la *S. flexneri*, en este orden, son las formas predominantes en los Estados Unidos. La enfermedad siempre ha encontrado su caldo de cultivo en las condiciones de sobrepoblación con saneamiento deficiente.

Baja dosis de infección

Esta enfermedad sólo afecta a los humanos y algunos primates. Basta con ingerir una mínima proporción de organismos shigella para que se origine una enfermedad clínica. En el caso de la *S. dysenteriae*, es suficiente una cantidad tan reducida como de 10 a 100 bacterias para producir una enfermedad sintomática en un 10 a 40% de voluntarios adultos. Debido a que se requiere una cantidad minúscula de inoculación, la shigella puede propagarse por contacto, sin necesidad de un vehículo, tal como los alimentos, el agua o la leche, que amplifique la dosis de infección (Keusch, 1979). Lo único que se requiere es una capa delgadísima de heces infectadas sobre los dedos. Horas después de la

inoculación experimental de la bacteria en la piel, se ha cultivado regularmente de los dedos shigellas viables (Christie, 1968). Sin embargo, la probabilidad de transmisión se ve acrecentada cuando el saneamiento es pobre o existe la posibilidad de que los organismos lleguen al agua o a los alimentos. Se ha descubierto que la shigelosis epidémica con frecuencia se origina debido a dichas circunstancias, pudiéndose también incluir la existencia de sistemas defectuosos de abastecimiento de agua y saneamiento.

Importancia de la cantidad del agua

La importancia de que la dosis de infección sea baja se mostró en una serie de estudios durante la década de 1950, los cuales se muestran en el cuadro 2-2. Los estudios realizados en base a comunidades pobres de los Estados Unidos y Guatemala mostraron que la adecuabilidad, e implícitamente la cantidad de agua disponible, así como la disposición apropiada de los excrementos tenían un impacto significativo sobre la prevalencia de la shigelosis. La prevalencia de dicha enfermedad en la comunidad podía variar hasta en 12 veces, dependiendo, por ejemplo, de la localización de las instalaciones de agua y de saneamiento.

El rol del agua

Los estudios descritos en el cuadro y la baja dosis de infección han dado como resultado que se

tipifique a la shigelosis como una enfermedad "relacionada a la higiene con agua". Sin embargo, también es una enfermedad transmitida a través del agua. Black, Craun y Blake (1978), en un estudio de 15 años (1961-1975) sobre 110 brotes de shigelosis en los Estados Unidos, encontraron que 38 se transmitieron a través del agua, principalmente en pequeños abastecimientos de agua "semi-públicos". Un estudio realizado por Rosenberg y otros (1976) encontró que la transmisión se debía en mayor grado al contacto persona a persona; pero, la transmisión a través del agua tenía aún considerable importancia. Existe bibliografía sobre varias epidemias de gran magnitud transmitidas a través del agua, incluyendo aquellas que ocurrieron en Newton, Kansas (Kinneman y Beelman, 1944); con 3,000 casos en Roosevelt, Utah (Drachman y otros, 1960) y en Montrose, Escocia (Green y otros, 1968).

Bibliografía sobre disentería bacilar (shigelosis)

- Baine, William B. y otros. "Waterborne Shigellosis at a Public School" (Shigelosis transmitida por el agua en una escuela fiscal). *American Journal of Epidemiology*. 101(4): 323-332. 1975.
- Beaty, Harry N. "Shigellosis". Cap. 141 en: Thorn, George W., y otros, editores. *Harrison's Principles of Internal Medicine*, octava edición, Mc. Graw-Hill Book Co. Nueva York. págs. 847-849. 1977.
- Beck, M.D., Muñoz, J.A. y Scrimshaw, N.S. "Studies on Diarrhoeal Diseases in Central America. Preliminary Findings on Cultural Survey of Normal Population Groups in Guatemala" (Estudios sobre enfermedades diarreicas

Cuad. 2-2 Tasas de prevalencia¹ de *Shigella* de acuerdo a los niveles de abastecimiento de agua y saneamiento.

Instalaciones sanitarias por vivienda	Kentucky 1954-56 %	Guatemala 1955-56 %	California 1952-53 %	Georgia 1949-53 %	Media de medias %	Ratios de medias respecto a la menor mayor	
Agua interior/inodoro con tanque	1.1	—	1.6	0.4	0.4	1.0	0.15
Agua interior/letrina exterior	2.4	6.3	3.0	2.2	2.2	3.5	0.54
Agua exterior/letrina exterior	5.9	9.4	5.8	5.0	5.0	6.5	1.0
Agua en los predios	5.8	—	—	4.1	4.1	5.0	0.70
Agua fuera de los predios	6.0	—	—	5.8	5.8	5.9	0.89

¹ Cultivos positivos de niños en edad pre-escolar en Kentucky y de niños de 10 años y menores en Guatemala. Para Guatemala, el servicio de agua al interior de la vivienda con letrina exterior corresponde a las instalaciones de más del 50% de las viviendas; el caso de agua y letrina extenores corresponde a las instalaciones de menos del 50% de viviendas.

Fuentes: Schlessman y otros (1958); Beck, Muñoz y Scrimshaw (1957); Hollister y otros (1955); Stewart y otros (1955).

- en Centroamérica. Descubrimientos preliminares a partir de estudios de cultivos en grupos con población normal en Guatemala). *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 6:67-71. 1957.
- Black, Robert E., Craun, Gunther F. y Blake, Paul A. "Epidemiology of Common-Source Outbreaks of Shigellosis in the United States, 1961-75" (Epidemiología de los brotes de shigelosis de fuente común en los Estados Unidos, 1961-75). *American Journal of Epidemiology*. 108(1): 47-52. 1978.
- Drachman, Robert H. y otros. "An Outbreak of Water-Borne Shigella Gastroenteritis" (Una epidemia de gastroenteritis causada por shigella transmitida en el agua). *American Journal of Hygiene*. 72: 321-334. 1960.
- Fairley, N. Hamilton y Boyd, J.S.K. "Dysentery in the Middle East with Special Reference to Sulphaguanidine Treatment" (Disentería en el Medio Oriente con referencia especial al tratamiento a base de sulfaguanidina). *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. 36(5): 254-278. 1943.
- Gangarosa, Eugene J. "Shigellosis". Cap. 61 en: Top Franklin H. y Wehrle, Paul F., editores. *Communicable and Infectious Diseases*, octava edición, C.V. Moaby Company. Saint Louis. págs. 612-622. 1976.
- Gangarosa, Eugene J. y otros. "Epidemics Shiga Bacillus Dysentery in Central America. II. Epidemiologic Studies in 1969" (Disentería epidémica causada por el bacilo shiga en Centroamérica. II. Estudios epidemiológicos en 1969). *The Journal of Infectious Diseases*. 122(3): 181-190. 1970.
- Green, D.M. y otros. "Water-borne Outbreak of Viral Gastroenteritis and Sonne Dysentery" (Epidemias de gastroenteritis viral y disentería Sonne transmitidas por el agua). *Journal of Hygiene (Cambridge)*. 66: 383-392. 1968.
- Hardy, Albert V. "Shigellosis (Bacillary Dysentery) Among Institutional Inmates" (Shigelosis entre reclusos). *The Psychiatric Quarterly*. 19(3): 377-397. 1945.
- Hollister, Arthur C., Jr., Beck, M. Dorothy, Gittelsohn, Alan M. y Hemphill, Emmarie C. "Influence of Water Availability on Shigella Prevalence in Children of Farm Labor Families" (La influencia de la disponibilidad de agua en la prevalencia de la shigella en niños de familias agrícolas). *American Journal of Public Health*. 45(3): 354-362. 1955.
- Keusch, Gerald T. "Shigella Infections". *Clinics in Gastroenterology*. 8(3): 645-662. 1979.
- Kinnaman, C.H. y Beelman, F.C. "An Epidemic of 3,000 Cases of Bacillary Dysentery Involving a War Industry and Members of the Armed Force" (Una epidemia de 3,000 casos de disentería bacilar que afectó a una industria militar y a miembros de las fuerzas armadas). *American Journal of Public Health*. 34: 948-954. 1944.
- Rosenberg, Mark L. y otros. "Shigellosis in the United States: Ten Year Review of Nationwide Surveillance, 1964-1973" (Shigelosis en los Estados Unidos: Revisión de 10 años de control a nivel nacional, 1964-1973). *American Journal of Epidemiology*. 104(5): 543-551. 1976.
- Schliessmann, D.J., Atchley, F.O., Wilcomb, M.J. y Welch, S.F. "Relation of Environmental Factors to the Occurrence of Enteric Diseases in Areas of Eastern Kentucky" (Relación entre los factores ambientales y la presencia de enfermedades entéricas en la región este de Kentucky). *Public Health Monograph No. 54*. Publicado al mismo tiempo en *Public Health Reports* 73(11). Washington, 33 págs. 1958.
- Shiga, Kiyoshi. "Ueber den Disenterie-bacillus (Bacillus dysenteriae)". *Zentralblatt für Bacteriologie*. 24: 913-918. 1898.
- Stewart, William H., McCabe, Leland Jr., Hemphill, Emmarie C. y DeCapito, Thelma. "The Relationship of Certain Environmental Factors to the Prevalence of Shigella Infection" (Relación entre ciertos factores ambientales y la prevalencia de la infección de shigella). *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 4(4): 718-724. 1955.
- Vijil, Camilo. "Epidemic Shiga Dysentery in Central America". *The Lancet*. pág 838. 9 de octubre, 1971.
- Wilson, Graham S. y Miles, Ashley. "Bacillary Dysentery". Cap. 69 en: (Topley and Wilson's) *Principles of Bacteriology, Virology, and Immunity*, sexta edición, Williams & Wilkins Co., Baltimore. Vol. 2. págs. 2040-2055. 1975.
- Young, Viola Mae. "Shigellosis". En: Jelliffe, D.B., editor, *Diseases of Children in the Subtropics and Tropics*, Williams & Wilkins Co., Baltimore. págs. 413-419. 1970

ENTERITIS CAMPILOBACTERIANA

La diarrea causada por la infección de *Campylobacter jejuni* (feto vibrión) es una enfermedad entérica aguda, autolimitante, caracterizada por diarreas, dolor abdominal, malestar, fiebre, náuseas y vómitos. La transmisión se produce a través de alimentos o agua contaminados — y por contacto con animales o infantes infectados.

Las medidas preventivas contra la campilobacteriana incluyen la cocción total de los alimentos, la pasteurización de la leche, el control de las infecciones en mascotas y animales domésticos, la correcta elección de las personas encargadas de manipular alimentos y el correcto lavado de las manos.

A pesar de ser bien conocidas por los veterinarios, el rol de las campilobacterias en la diarrea humana sólo fue comprendido durante la década de los 70, debido en parte a las técnicas especiales de laboratorio que requiere su identificación.

Butzler y Skirrow (1979) citan varios brotes transmitidos por agua, siendo el más espectacular el de un pueblo de Vermont con 15,900 habitantes, donde 3,000 personas fueron afectadas, existiendo una abrumadora evidencia de que el sistema de abastecimiento de agua fue el responsable (Tiehan y Voght, 1978). Longfield y otros (1979) describen el caso de una persona que bebió agua de un manantial natural en Virginia Occidental.

Bibliografía sobre enteritis campilobacteriana

- Butzler, J.P. y Skirrow, M.B. "Campylobacter Enteritis" *Clinics in Gastroenterology*. 8(3): 737-765. 1979.
- Longfield, Robert y otros. "Acute Colitis and Bacteremia Due to Campylobacter fetus" (Colitis y bacteremia agudas debido a feto de campilobacteria). *Digestive Diseases and Sciences*. 24(12): 950-953. 1979.
- Skirrow, M.B. "Campylobacter Enteritis: A New Disease" (Enteritis campilobacteriana: Una nueva enfermedad). *British Medical Journal*. 2: 9-11. 2 de julio de 1977.
- Tiehan, W. y Voght, R.L. "Waterborne Campylobacter Gastroenteritis - Vermont" (Gastroenteritis campilobacteriana transmitida por agua - Vermont). *Morbidity and Mortality Weekly Report*. 27: 207. 1978.

CÓLERA

Introducción

El cólera es una enfermedad aguda provocada por la colonización de intestino delgado por parte del *Vibrio cholerae*, el bacilo del cólera. La enfermedad se caracteriza porque se presenta en forma epidémica y porque produce, en los casos más graves, diarrea masiva con una rápida depleción de fluido extracelular y electrolitos.

El *Vibrio cholerae* produce proteína enterotoxina que parece ser la responsable de todos los procesos patofisiológicos en el cólera. El período de incubación toma por lo general de 6 a 48 horas. Éste es seguido por un repentino ataque de diarrea acuosa, generalmente sin dolor. En los casos más severos, la evacuación inicial de deposiciones diarreicas puede ser superior a 1,000 ml y en horas se pueden perder muchos litros de líquidos, conduciendo rápidamente a un estado de shock profundo. Generalmente, el acceso de diarrea va seguido de vómitos, aunque algunas veces éstos lo preceden; la característica del vómito es que no va acompañado de dolor ni es precedido por náuseas. A medida que la depleción salina progresa, se presentan severos calambres musculares, que por lo general atacan a las pantorrillas.

Epidemiología

El cólera ha sido endémico durante un siglo y medio en la región del Delta del Ganges en Bengala Occidental y Bangladesh y con frecuencia es epidémico en toda el Asia sur y sudeste. La séptima y más reciente propagación pandémica de esta en-

fermedad, entre 1961 y 1975, se extendió desde Célebes hacia el norte hasta Corea y hacia el oeste a toda el África y la zona sur de Europa. La última epidemia importante de cólera en el hemisferio occidental tuvo lugar durante 1866-1867.

La mayoría de las principales epidemias se han producido claramente a través del agua, pero probablemente también la contaminación directa de alimentos por heces infectadas contribuyó a su propagación. El saneamiento deficiente parece ser el principal responsable de la continua presencia del cólera, pero los factores huéspedes, tales como la aclorhidria (ausencia de ácido clorhídrico), también desempeñan un papel importante en la susceptibilidad del individuo al contagio. En áreas endémicas, el cólera es predominantemente una enfermedad infantil. En Bangladesh, los índices de incidencia de la enfermedad son diez veces mayores en grupos cuyas edades fluctúan entre uno a cinco años que en aquellos mayores de catorce años. Sin embargo, cuando la enfermedad se propaga a áreas que no han sido previamente atacadas, los índices de incidencia son en un principio cuando menos tan altos en adultos como en niños.

Bibliografía sobre la relación entre el abastecimiento de agua y el cólera

- Agencia Internacional para el Desarrollo. Interim Report of the Task Force on Cholera (Informe intermedio de la Comisión ad. hoc. para el cólera). Washington, D.C. 149 págs. 1971.
- Ahmed, S.Z. "Water Studies in Connection with Cholera Epidemics" (Estudios de agua en conexión con epidemia de cólera). *East Pakistan Medical Journal*. 7: 13-15. 1963.
- Araoz, J. y Subrahmanyam, D.V. "Environmental Sanitation Measures Against Cholera" (Medidas de saneamiento ambiental contra el cólera) En: Principles and Practice of Cholera Control (Public Health Paper No. 40). Organización Mundial de la Salud, Ginebra. págs. 95-110. 1970.
- Azurin, J.C. y Alvero, M. "Field Evaluation of Environmental Sanitation Measures Against Cholera" (Evaluación de campo de las medidas de saneamiento ambiental contra el cólera). *Bulletin World Health Organization* 51: 19-26. 1974.
- Barua, Dhiman y Burrows, William, editores. Cholera. W.B. Saunders Co., Filadelfia. 458 págs. 1974.
- Briscoe, John. "Public Health in Rural India: The Case of Excreta Disposal" (Salud pública en la India rural: El caso de la disposición de excretas). Research Paper Number 12. Center for Population Studies, Harvard University. Cambridge. 414 págs. Febrero. 1976.
- Briscoe, John. "The Role of Water Supply in Improving Health in Poor Countries (With Special Reference to Ban-

- gladesh)" (El rol de los abastecimientos de agua en la mejora de la salud en los países pobres (Con una referencia especial a Bangladesh). Working Paper No. 6. Cholera Research Laboratory. Dacca, 33 págs., 1978 y con addendum en: *American Journal Clinical Nutrition*. 31: 2100-2113. 1978.
- Briscoe, J., Ahmed, S. y Chakraborty, M. "Domestic Water Use in Village in Bangladesh, I: A Methodology and a Preliminary Analysis of Use Patterns During the "Cholera Season" (Uso del agua doméstica en las aldeas de Bangladesh, I, Una metodología y un análisis preliminar de los patrones de uso durante la "temporada de cólera"). *Progress in Water Technology*, 11(1/2): 131-141. 1978.
- Comité del Cólera de Filipinas. "Study on the Transmission of El Tor Cholera During an Outbreak in Can-Hom Community in the Philippines" (Estudio de la transmisión del cólera durante una epidemia en la comunidad de Can-Hom en Las Filipinas). *Bulletin World Health Organization*. 43: 413-419. 1970.
- Comité del Cólera de Las Filipinas. "Summary of the Preliminary Report of Effectiveness of Environmental Sanitation in Cholera Control" (Resumen del control del cólera). Capítulo 5 en: "Strategy of Cholera Control", Organización Mundial de la Salud. Documento mimeografiado BD/CHOLERA/ 71.1, págs. 36-39. 1971.
- Curlin, George T., Aziz, K.M.A. y Khan, M.R. "The Influence of Drinking Tubewell Water on Diarrheal Rates in Matlab Thana, Bangladesh" (La influencia del agua potable de pozos tubulares sobre los índices de diarrea en Matlab Thana, Bangladesh). *Working Paper No. 1*. Cholera Research Laboratory, Dacca. 18 págs. 1977.
- Dupont, H.L. y Hornick, R.B. "Clinical Approach to Infectious Diarrhea" (Enfoque clínico de la diarrea infecciosa). *Medicine*. 52. 265-270. 1973.
- Feacham, Richard. "Is Cholera Primarily Water-borne?" (¿Es el cólera transmitido principalmente por el agua?) (Carta al editor). *Lancet*. Octubre 30(02): 957-958, 1976.
- Felsenfeld, O. "Some Observations on the Cholera (El Tor) Epidemics in 1961-62" (Algunas observaciones sobre las epidemias de cólera (El Tor) en 1961-62.) *Bulletin World Health Organization*. 28: 289-296. 1963.
- Forbes, G.I. "An Outbreak of Cholera El Tor in Hong Kong: The Temple Street Well" (Una epidemia de cólera El Tor en Hong Kong: El pozo de la calle del templo). *Public Health*. 80: 188-193. 1965.
- Forbes, G.I., Lockhar, J.D.F. y Bowman, R.K. "Cholera and Nightsoil Infection in Hong Kong" (Cólera e infección de heces en Hong Kong). *Bulletin World Health Organization*. 36: 367-373. 1967.
- Gangarosa, Eugene J. "The Epidemiologic Basis of Cholera Control" (La base epidemiológica del control del cólera). *Bulletin Pan American Health Organization*. 36: 367-373. 1967.
- Gangarosa, Eugene J. y Mosley, Wiley, H. "Epidemiology and Surveillance of Cholera" (Epidemiología y supervigilancia del cólera). Capítulo 22 en: 'Cholera', Drihman Barua y William Burrows, editores. W.B. Saunders Co., Filadelfia. págs. 381-403. 1974.
- Harris, S.A. "The Effect of Pipe Water Supplies on the Reduction of Cholera in Urban Areas" (El efecto de los abastecimientos entubados de agua en la reducción del cólera en las áreas urbanas). *Proceedings Second All-India Conference*. Vol. 3: 204-212. 1913.
- Hoops, A.L. "Round Table Discussion on Cholera" (Mesa redonda sobre el cólera). En: *Transactions of The Ninth Congress of the Far Eastern Association of Tropical Medicine*. Nanking. Vol. 1, pág. 442. 1934. Citado por Pollitzer.
- Hughes, James M., Boyce John M., Levine, Richard J., Khan, Moslemuddin y Curlin, George T. "Water and the Transmission of El Tor Cholera in Rural Bangladesh" (El agua y la transmisión del cólera El Tor en el Bangladesh rural). *Working Paper No. 2*. Cholera Research Laboratory, Dacca. 24 págs. 1977.
- Joseph, P.R., Tamayo, J.F., Mosley, W.H., Alvero, M.G., Dizon, J.J. y Henderson, D.A. "Studies of Cholera El Tor in the Phillipines. II. A Retrospective Investigation of an Explosive Outbreak in Bacolod City and Talisay" (Estudios sobre el cólera El Tor en las Filipinas. II. Una investigación retrospectiva de un brote explosivo en Bacolod City y Talisay). *Bulletin World Health Organization*. 33: 637-643. 1965.
- Kawata, Kazuyoshi. "Of Typhoid Fever and Telephone Poles: Deceptive Data on the Effect of Water Supply and Privies on Health in Tropical Countries" (Sobre la fiebre tifoidea y los postes telefónicos: Datos engañosos sobre el efecto del abastecimiento de agua y las letrinas en la salud en los países tropicales). *Progress in Water Technology*, 11(1/2): 37-43. 1978.
- Khan, M.U., Chakraborty, J., Sardar, A.M. y Khan, M. R. "Water Sources and the Incidence of Cholera in Rural Bangladesh" (Fuentes de agua e incidencia del cólera en el Bangladesh rural). Cholera Research Laboratory, Dacca. 31 págs. 1975.
- Koch, R. En: "Die Konferenz zur Erörterung der Cholerafrage". *Berl. Klin. Wschr*; 21: 477, 493, 509. 1884. Traducido por Pollitzer.
- Kochar, V.K. "Human Factors in the Ecology and Epidemiology of Hookworm Infection in Rural West Bengal" (Factores humanos en la ecología y epidemiología del contagio de filariasis en la región rural occidental de Bengala). Tesis. John Hopkins University, Baltimore, 1975.
- Kolle, W. "Cholera Asiatica". En: 'Handbuch der Pathogenen Mikroorganismen'. Jena. Vol. 3, pág. 1 ff. (resumido por Pollitzer). 1904.
- Levine, Richard J., Khan, Motiur R., D'Souza, Stanislaus y Nalin, David R. "Cholera Transmission Near a Cholera Hospital" (Transmisión del cólera cerca a un hospital para enfermos de cólera). *Lancet*. Julio 10(2): 84-86. 1976.
- Levine, Richard J., Khan, Motiur R., D'Souza, Stanislaus y Nalin, David R. "Failure of Sanitary Wells to Protect Against Cholera and Other Diarrhoeas in Bangladesh" (Ineficacia de los pozos sanitarios para proteger contra el cólera y otras diarreas en Bangladesh). *Lancet*. Julio 10(2): 86-89. 1976.
- MacCormack, W.H. y Curlin, G.T. "Infectious Diseases: Their Spreads and Control" (Enfermedades infecciosas: Su propagación y control). En: *Disaster in Bangladesh*:

- Health Crisis in Developing Nations, Lincoln Chen, editor. Oxford University Press, Nueva York. 1973.
- Martin, Albert R., Mosley, Wiley H., Sau, Binipani Biswas, Ahmad, Shamsa y Huq, Imdadol. "Epidemiological Analysis of Endemic Cholera in Urban East Pakistan 1964-1966" (Análisis epidemiológico del cólera endémico en la región urbana oriental del Pakistán). *American Journal of Epidemiology*. 89: 572-582. 1969.
- McCabe, De Soto B. "Water and Wastewater Systems to Combat Cholera in East Pakistan" (Sistemas de agua y desagüe para combatir el cólera en el Pakistán oriental). *Journal Water Pollution Control Federation*. 42: 1968-1981. Noviembre, 1970.
- McCormack, William M., Moxley, Wiley H., Fahimuddin, Mohammad y Benenson, Abram S. "Endemic Cholera in Rural East Pakistan" (Cólera endémico en el Pakistán oriental rural). *American Journal of Epidemiology*. 89: 393-404. 1969.
- Mendelson, R.W. y Tait, R. Johnston. "The Recent Cholera Epidemic in Bangkok, Siam" (La reciente epidemia de cólera en Bangkok, Siam) *Journal Tropical Medicine and Hygiene*. 24: 1-16. 1921.
- Mosley, W.H. "Epidemiology of Cholera" (Epidemiología del cólera). En: Principles and Practice of Cholera Control (Public Health Paper No. 40). Organización Mundial de la Salud. Ginebra. págs. 24-27. 1970.
- Mosley, W.H., Henry y Khan, Moslemuddin. "Cholera Epidemiology - Some Environmental Aspects" (Epidemiología del cólera - Algunos aspectos ambientales). Cholera Research Laboratory, Dacca. 8 págs. 1978.
- Organización Mundial de la Salud. Principles and Practice of Cholera Control (Principios y práctica en el control del cólera) (Public Health Paper No. 40). Ginebra. 1970.
- Organización Mundial de la Salud. "Strategy on Cholera Control" (Estrategia para el control del cólera). Documento inédito BD/CHOLERA/71.5 Rev. 1. Ginebra. 36 págs. 1971.
- Organización Mundial de la Salud. "Observations for Consideration on the Implementation of Basic Sanitary Measures in Cholera Control" (Observaciones para la evaluación de la implementación de medidas sanitarias básicas para el control del cólera) (documento preparado por el Secretario de la OMS para una "Consulta Informal sobre el Desarrollo de Planes para el Programa de Control del Cólera a Corto y Largo Plazo de la OMS"). Ginebra. 9 págs., más anexos, 24-27 octubre 1972.
- Organización Mundial de la Salud, Oficina Regional para el Asia Sudoriental. "Relationship Between Cholera, Typhoid, Disentery and Number of Tubewells" (Relación entre el cólera, la tifoidea, la disentería y el número de pozos tubulares). Apéndice II de: Report on Rural Water Supply Bangladesh. Documento EH/SEARO/74.1. Nueva Delhi. 26 págs., más 14 anexos. 26 de julio de 1974.
- Pandit, C.G., Pal, S.C., Murti, G.V.S., Mistra, B.S., Murtz, D.K. y Shrivastav. "Survival of V. Cholerae biotype El Tor in Well Water" (Supervivencia del vibrión de cólera El Tor en el agua de pozo). *Bulletin World Health Organization* 37: 681-685. 1967.
- Pollitzer, R. Cholera (WHO Monograph Series No. 43). Organización Mundial de la Salud, Ginebra. 1019 págs. 1959.
- Shousha, A.T. "Cholera Epidemic in Egypt (1974). A Preliminary Report" (Epidemia de cólera en Egipto. Un informe preliminar). *Bulletin World Health Organization*. 1: 353-381. 1948.
- Shrivastav, J.B. "Prevention and Control of Cholera" (Prevención y control del cólera). Cap. 23 en: 'Cholera', Dhiman Barna y William Burrows, editores. W.B. Saunders Co., Filadelfia. Págs. 405-426. 1974.
- Skoda, John D., Mendis, J. Bertrand y Chia, Michael. "A Survey in Rural Bangladesh on Diarrhoeal Morbidity, Water usage and Related Factors" (Un estudio en el Bangladesh rural sobre la morbilidad por diarrea, el uso de agua y factores relacionados). Primer informe. UNICEF, Dacca. 46 págs. 1977.
- Snow, John. On the Mode of Communication of Cholera (Sobre el modo de contagio del cólera). Segunda edición, ampliada. John Churchill, Londres. 164 págs. 1855. Reimpreso en 'Snow on Cholera'. Commonwealth Fund, Nueva York xviii + 191 págs. 1936.
- Sommar, Alfred y Woodward, William E. "The Influence of Protected Water Supplies on the Spread of Classical/Inaba and El Tor/Ogawa Cholera in Rural East Bengal" (La influencia de los abastecimientos de agua protegidos en la diseminación del cólera clásico/Inaba y El Tor/Ogawa en la región oriental rural de Bengala). *Lancet*. Nov. 11(2): 985-987. 1972.
- Stock, R.F. "Cholera in Africa". African Environmental Special Report 3. International African Institute, Londres. 1976.
- Subrahmanyam, K. "Note to the Importance of Environmental Sanitation in the Campaign Against Cholera" (Anotación sobre la importancia del saneamiento ambiental en la campaña contra el cólera). Documento mimeografiado WHO/Cholera/12. Organización Mundial de la Salud, Ginebra, 1951.
- Wood, W.E. "Cholera Control Through Environmental Sanitation" (Control del cólera mediante saneamiento ambiental). Documento inédito WHO/EH/70.1. Organización Mundial de la Salud, Ginebra, 11 págs. 1970.

ENFERMEDADES DIARREICAS

Introducción

Los dramáticos síntomas de las enfermedades diarreicas han concitado la atención del hombre desde tiempos inmemorables. En la actualidad, todos los países reconocen que estas enfermedades se deben en gran medida a un medio ambiente insalubre. La falta de agua confiable y adecuada, la falta de protección contra los excrementos humanos, los alimentos contaminados, la suciedad y las moscas — todo esto es lo que fomenta la diarrea.

La diarrea es tan universal y resulta de tantas etiologías (véase cuadro 2-3) que no tiene una definición más precisa que la evacuación anormalmente frecuente de deposiciones sueltas, acuosas. Los hábitos del intestino de las personas saludables pueden variar considerablemente, de modo que el término diarrea tiene un significado limitado a menos que se le considere como un cambio en el patrón de costumbres del individuo.

El acceso súbito de diarrea en personas que no tienen otro problema de salud está relacionado la mayoría de las veces con un proceso infeccioso. Frecuentemente está acompañada de una variedad de síntomas, que incluyen fiebre, dolor de cabeza, anorexia, vómitos, malestar y mialgia, pero éstos no siempre pueden usarse para distinguir con certeza el agente causante de la diarrea.

Fue sólo durante la última década que la ciencia médica pudo identificar con una certeza razonable a los organismos patógenos de muchas de las más importantes enfermedades diarreicas, por ejemplo, los rotavirus. El rol de la *Escherichia coli* ha resultado ser mucho más importante de lo que se creyó originalmente: En forma similar, la enteritis campilobacteriana, la yersiniosis y la diarrea viral del tipo Norwalk han recibido un mayor reconocimiento.

Cuadro 2-3 Algunas causas potenciales de diarrea.

<i>Con agentes infecciosos</i>
Gastroenteritis infecciosa aguda no específica
Amebiasis (disentería amébrica)
Balantidiasis (disentería balantidial)
Enteritis campilobacteriana
Capilariasis intestinal
Cólera
Clonorquiasis (lombriz china)
Coccidiosis
Difilobotriosis (lombriz cestoda de peces)
Diarrea por <i>Escherichia coli</i> (Enteroinvasiva, enteropatógena, enterotoxígena)
Fasciolopsiasis
Giardiasis
Filariasis (dracontiasis)
Leishmaniasis
Malaria pernicioso
Enfermedades causadas por vibriones, aparte del cólera
Opistorchiasis
Fiebre paratifoidea
Gastroenteritis por rotavirus
Salmonelosis
Esquistosomiasis
Shigelosis

Cuadro 2-3 (continuación)

<i>Con agentes infecciosos</i>
Estrongiloidosis
Triquinosis
Tuberculosis
Tricuriasis
Tularemia
Fiebre tifoidea (estreñimiento más común que diarrea)
Diarrea viral (tipo Norwalk)
Yersiniosis
Y otras.
<i>Con agentes no infecciosos</i>
Amilodiosis
Cáncer
Catarsis
Enfermedad de Crohn
Diverticulitis
Drogas
Desórdenes endocrinos
Colon errático
Desórdenes por mala absorción (por ejemplo: psilosis)
Envenenamiento
Químico
Alimenticio (por ejemplo: toxinas estafilococales y botulinales, toxinas naturales en pescados, hongos, etc.)
Radiación
y otras

El intestino

El aparato digestivo del cuerpo humano es un tubo muscular que empieza en la garganta y transporta los alimentos y fluidos hasta el ensanchamiento en forma de saco formado por el estómago; luego se prolonga unos 21 pies (6.4 metros) por el tortuoso y libremente movable intestino delgado, el que alcanza en el adulto un diámetro de 1.5 pulgadas (3.8 cm); éste desemboca en el intestino grueso, de un diámetro considerablemente mayor y 5 pies (1.5 m) de longitud, el cual termina en el ano. El estómago y los intestinos delgado y grueso son, junto con el hígado, los órganos de mayor tamaño que llenan la cavidad abdominal. Ésta se encuentra separada de la cavidad pectoral, que contiene al corazón y los pulmones, por medio del diafragma muscular.

El intestino delgado (duodeno, yeyuno e íleon, en orden) digiere los alimentos que contiene y absorbe sus nutrientes. El intestino grueso, o colon, convierte el efluente líquido del íleon en material

fecal sólido y lo conduce mediante contracciones rítmicas hacia el recto, donde es evacuado por el ano. Durante estos procesos, el colon absorbe fluidos (agua en exceso) y electrolitos.

En un adulto normal, ingresan al duodeno cada día aproximadamente ocho litros de agua (unos 8.5 cuartos de galón), compuestos por aproximadamente un litro de saliva, dos de jugos gástricos, dos de jugo pancreático y uno de bilis, conjuntamente con quizás dos litros de alimentos y bebidas. En el intestino delgado se agrega más líquido, pero la absorción es tal que al intestino grueso ingresa de 0.5 a 1.0 litros de agua. Allí, la absorción neta da como resultado que en las evacuaciones aparezca solamente 0.1 litros como agua fecal (Rowland, 1978; Goldfinger, 1977).

La pérdida excesiva de agua durante la diarrea da como resultado la deshidratación, la cual puede constituir una seria amenaza para la salud, incluso para la vida. Así, a pesar de su diferente etiología, la mayoría de las enfermedades diarreicas pueden considerarse como una entidad simple debido a que la terapia de reemplazo de fluido básico y de electrolitos que se requiere para evitar un resultado fatal es similar para todas.

Diarrea infantil

Las enfermedades diarreicas constituyen un problema particularmente devastador durante la primera infancia y la niñez; ellas causan la muerte de 10 a 20 millones de niños anualmente, la mayor parte de ellos de los países en vías de desarrollo. El niño posee una reserva nutricional menor, una inmunidad más débil y frecuentemente cuenta con una menor protección contra la acidez gástrica y la peristalsis intestinal. Quizás lo más importante es que el niño tiene un volumen relativamente grande de fluido extracelular así como una amplia área superficial de intestino delgado en proporción al peso de su cuerpo, a diferencia del adulto. Los efectos de las pérdidas fecales de agua y solutos en un niño se aproximan a los niveles peligrosos mucho más rápidamente que en un adulto. "La deshidratación, el desequilibrio electrolítico, la acidosis y el shock pueden progresar a la velocidad de la luz" (Gall y Hamilton, 1977).

Los índices de mortalidad ocasionados por enfermedades diarreicas agudas entre los niños de corta edad en los países en vías de desarrollo podrían ser aún mayores si no fuera por la casi universal

práctica de la lactancia materna. De este modo se proporciona una alimentación buena y limpia en lugares donde la nutrición y el saneamiento constituyen las principales deficiencias de la salud pública. Sin embargo, generalmente debe agregarse una alimentación complementaria cuando la lactancia se prolonga más allá de los 6 meses aproximadamente.

Existe una relación tan estrecha entre los alimentos de baja calidad nutritiva preparados bajo condiciones insalubres y la diarrea pediátrica que la enfermedad tiene un nombre especial "diarrea del recién destetado" (Gordon, Chitkara y Wyon, 1963).

Bibliografía sobre enfermedades diarreicas

- Bullen, Catherine y Willis, A.T. "Resistance of the Breast-fed Infant to Gastroenteritis" (Resistencia de los infantes de pecho a la gastroenteritis). *British Medical Journal*. 3(5770): 338-343. 1971.
- Drachman, Robert H. "Acute Infectious Gastroenteritis" (Gastroenteritis infecciosa aguda). *Pediatric Clinics of North America*. 21: 717-737. 1974.
- DuPont, Herbert L. "Enteropathogenic Organisms. New Etiologic Agents and Concepts of Disease" (Organismos enteropatógenos. Nuevos conceptos etiológicos y conceptos de enfermedad). *Medical Clinics of North America*. 62(5): 945-960. 1978.
- Gall, D.G. y Hamilton, J.R. "Infectious Diarrhoea in Infants and Children" (Diarrea infecciosa en infantes y niños). *Clinics in Gastroenterology*. 6(2): 431-444. 1977.
- Gangarosa, Eugene J. "Recent Developments in Diarrheal Diseases" (Avances recientes en las enfermedades diarreicas). *Postgraduate Medicine*. 62(2): 113-117. 1977.
- Goldfinger, Stephen E. "Constipation, Diarrhea, and Disturbances of Anorectal Function" (Estreñimiento, diarrea y perturbaciones de la función anorrectal). Cap. 41 en: Thorn, George W. y otros, editores, 'Harrison's' Principles of Internal Medicine', octava edición, McGraw-Hill Book Co., Nueva York. Págs. 211-214. 1977.
- Gordon, John E., Chitkara, Ishwari D. y Wyon, John B. "Weanling Diarrhea" (Diarrea del recién destetado). *American Journal of Medical Sciences*. 245: 345-377. 1963.
- Jelliffe, D.B. "Weanling Diarrhoea". En: Jelliffe, D.B., editor, 'Diseases of Children in the Subtropics and Tropics', Williams & Wilkins Co., Baltimore. Págs. 441-444. 1970.
- Lambert, H.P., editor. "Infections of the GI Tract" (Infecciones del tubo gastrointestinal). *Clinics in Gastroenterology*. 8(3). 539-838. 1979.
- Organización Mundial de la Salud. "Enteric Infections" Technical Report Series No. 288. Ginebra. 34 págs. 1964.
- Organización Mundial de la Salud. "Treatment and Prevention of Dehydration in Diarrhoeal Diseases. A Guide for Use at the Primary Level" (Tratamiento y prevención de la deshidratación en las enfermedades diarreicas. Guía para el nivel primario). Ginebra. 31 págs. 1976.

Ross Institute of Tropical Hygiene, The. "Inflammatory Diseases of the Bowel" (Enfermedades inflamatorias del intestino). *Bulletin No. 9*. Londres. 22 págs. 1975.

Rowland, H.A.K. "The Pathogenesis of Diarrhoea" (La patogénesis de la diarrea). *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. 72(3): 289-302. 1978.

DIARREA POR ESCHERICHIA COLI

Introducción

El patógeno *E. coli* comprende por lo menos tres tipos (OMS, 1979):

- *E. coli enterotoxigénica (ECET)*. Hasta 1968, no se reconocía la importancia de la ECET como una causa de la diarrea. Estos organismos constituyen una causa importante de las enfermedades diarreicas en los niños de los países en vías de desarrollo y son de lejos la causa más común de la diarrea de los viajeros. Asimismo, son responsables de una grave enfermedad infantil similar al cólera. Si bien son una causa común de la diarrea en el tercer mundo, no constituyen una causa frecuente de diarrea en los países desarrollados, con excepción de las áreas donde el saneamiento es deficiente. Su transmisión parece darse a través del agua, alimentos y, en las guarderías infantiles, de persona a persona.
- *E. coli enteropatógena (ECEP)*. Desde la década de los 40, se conocía ya que algunos serotipos ECEP causaban enteritis infantil. En la actualidad, la ECEP epidémica prácticamente no existe en los países desarrollados y su epidemiología no está bien definida en los países en vías de desarrollo. Se sabe de brotes transmitidos a través del agua.
- *E. coli enteroinvasiva (ECEI)*. Los serotipos *E. coli* que ocasionan las enfermedades del tipo Shigella se reconocieron en 1967. Se sabe que la ECEI es causante de epidemias transmitidas a través del agua.

El rol del agua

Estos organismos se propagan a través de alimentos contaminados, el agua y los vómitos. La falta de lavado de las manos y las deficiencias en la higiene personal y el saneamiento ambiental son facto-

res que contribuyen a la propagación de la enfermedad.

Para que se produzca la enfermedad se requiere de una inoculación de 10^6 - 10^9 organismos. Por esta razón, solamente el agua y los alimentos, no así el contacto persona a persona, constituyen los medios de transmisión de la *E. coli* diarreica. (Gangarosa, 1978).

Rowe (1979), observando la gran incidencia de la ECEI cuando los infantes dejan la leche materna en los países en vías de desarrollo, sugiere que esto se debe a la exposición de los infantes a "los peligros de la contaminación ambiental, especialmente de los alimentos y del agua". La ECEI ha sido asociada a varios brotes transmitidos a través del agua y la ECET a muchos (Rowe, 1979).

Bibliografía sobre diarrea por Escherichia coli

- Culp, Russell L. "Disease Due to 'Nonpathogenic' Bacteria" (Enfermedad provocada por una bacteria no patógena). *Journal American Water Works Association*. 61(3): 157. 1969.
- Gangarosa, Eugene J. "Epidemiology of *Escherichia coli* in the United States" (Epidemiología de *Escherichia coli* en los Estados Unidos). *The Journal of Infectious Diseases*. 137(5): 634-638. 1978.
- Gangarosa, Eugene J. y Merson, Michael H. "Epidemiological Assessment of The Relevance of the So-Called Enteropathogenic Serogroups of *Escherichia coli* in Diarrhea" (Evaluación epidemiológica de la importancia de los llamados serogrupos enteropatógenos de la *Escherichia coli* en la diarrea). *New England Journal of Medicine*. 296: 4 págs. 1977.
- Gorbach, Sherwood I. y otros. "Travelers' Diarrhea and Toxigenic *Escherichia coli*" (La diarrea de los viajeros y la *E. coli* toxigénica). *The New England Journal of Medicine*. 292(18): 933-936. 1975.
- Joe, Lie Kian, Sahab, K., Yauw, Gan-oei Siok y Makaliwy, C. "Diarrhea Among Infants and Children in Djakarta, Indonesia, with Special Reference to Pathogenic *Escherichia coli*" (Diarrea entre infantes y niños en Yakarta, Indonesia, con referencia especial a la *E. coli* patógena). *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 9: 626-632. 1960.
- Levine, Myron M., Rennels, Margaret B., Cisneros, Luis, Hughes, Timothy P., Nalin, David R. y Young, Charles R. "Lack of Person-to-Person Transmission of Enterotoxigenic *Escherichia coli* Despite Close Contact" (La no transmisión persona a persona de la *E. coli* enterotoxigénica a pesar del contacto cercano). *American Journal of Epidemiology*. 111(3): 347-355. 1980.
- Rosenberg, Mark L. y otros. "Epidemic Diarrhea at Crater Lake from Enterotoxigenic *Escherichia coli*" (Diarrea epidémica en Crater Lake debido a la *E. coli* enterotoxigénica). *Annals of Internal Medicine* 86: 714-718. 1977.

- Rowe, Bernard. "The Role of *Escherichia coli* in Gastroenteritis". *Clinics in Gastroenterology*. 8(3): 625-644. 1979.
- Ryder, Robert W. y cols. "Enterotoxigenic *Escherichia coli* and Reovirus-Like Agent in Rural Bangladesh" (*E. coli* enterotoxigénica y un agente similar al reovirus en el Bangladesh rural). *The Lancet*. I(7961):659-662. Mzo. 27, 1976.
- Ryder, Robert W. y otros. "Infantile Diarrhea Produced by Heat-Stable Enterotoxigenic *Escherichia coli*" (Diarrea infantil producida por la *E. coli* enterotoxigénica estable en calor). *New England Journal of Medicine*. 295(16): 849-853. 1976.
- Schroeder, Steven A. y otros. "A Waterborne Outbreak of Gastroenteritis in Adults Associated with *Escherichia coli*" (Un brote de gastroenteritis de adultos transmitido por agua y asociado con la *E. coli*). *The Lancet*. I: 737-740. Abril 6, 1968.
- Turck, Marvin y otros. "Studies on the Epidemiology of *Escherichia coli* 1960-1968" (Estudios sobre la epidemiología de la *E. coli* 1960-1968). *The Journal of Infectious Diseases*. 120 (1): 13-16. 1969.
- Turck, Marvin y Petersdorf, Robert G. "The Epidemiology of Non-Enteric *Escherichia coli* Infections: Prevalence of Serological Groups" (La epidemiología de las infecciones de *E. coli* no entéricas: Prevalencia de grupos serológicos). *Journal of Clinical Investigation*. 41(9): 1760-1765. 1962.
- Wheeler, Warren E. "Diarrhea, Infantil, Caused by Enteropathogenic *Escherichia coli*" (Diarrea infantil causada por *E. coli* enteropatógena). Cap. 21 en: Top, Franklin H. y Wehrle, Paul F., editores, 'Communicable and Infectious Diseases', octava edición, C.V. Mosby Company, Saint Louis. Págs. 218-222. 1976.
- Lee, James A. y otros. "International Conference on the Diarrhea of Travelers —New Directions in Research: A Summary" (Conferencia internacional sobre diarrea de los viajeros —Nuevas direcciones en la investigación: Un resumen). *The Journal of Infectious Diseases*. 137(3): 355-369. 1978.
- Lowenstein, Matthew S., Balows, Albert y Gangarosa, Eugene J. "Turista at an International Congress in Mexico" (Turista en un congreso internacional en México). *The Lancet*. I: 529-531. Marzo 10, 1973.
- Merson, Michael H. "Toxigenic Turista". *The New England Journal of Medicine*. 292(18) Parte (2): 969-970. 1975.
- Merson, Michael y otros. "Travelers' Diarrhea in Mexico" (Diarrea de los viajeros en México). *The New England Journal of Medicine*. 294(24): 1299-1305. 1976.
- Merson, Michael H. y Gangarosa, Eugene J. "Travelers' Diarrhea". *Journal of the American Medical Association*. 234(2): 200-201. 1975.
- Neumman, H.H. "Travellers' Diarrhoea". *The Lancet*. I: 420. Febrero 21, 1970.
- Nye, F.J. "Traveler's Diarrhoea". *Clinics in Gastroenterology*. 8(3): 767-781. 1979.
- Rowe, B., Taylor, Joan y Bettelheim, K.A. "An Investigation of Travellers' Diarrhoea" (Una investigación sobre la diarrea de los viajeros). *Lancet*. I: 1-5. 1970.
- Rust, James H. "The Diarrhea of Travelers —New Directions in Research" (Diarrea de los viajeros —Nuevos rumbos en la investigación). Decimosexta Reunión del Comité Asesor sobre Investigación Médica de la OPS. 32 págs. 1977.
- Ryder, Robert W., Wells, Joy G., Gangarosa, Eugene J. "A Study of Travelers' Diarrhea in Foreign Visitors to the United States" (Un estudio sobre la diarrea de los viajeros en turistas que visitan los Estados Unidos). *The Journal of Infectious Diseases*. 136(4): 605-607. 1977.

DIARRREA DE LOS VIAJEROS

Como se anotó anteriormente, se cree que más del 70% de los casos de diarrea de viajeros son resultado de una infección provocada por la *E. coli* enterotoxigénica.

Merson (1975) describe la diarrea de los viajeros de la siguiente manera:

El síndrome clínico de la diarrea de los viajeros sigue generalmente un patrón típico. Dentro de las dos semanas posteriores a su arribo a un país extranjero, y frecuentemente durante la primera semana, el viajero experimenta un acceso agudo de diarrea acuosa que algunas veces comprende hasta 10 a 20 episodios diarios. Esta diarrea frecuentemente va acompañada por cólicos abdominales, náuseas, malestar, vómitos, escalofríos o fiebre, con temperaturas de hasta 39.4 °C. La enfermedad por lo general es autolimitante aunque en casos severos puede incapacitar al visitante que de otra manera estaría muy activo.

Bibliografía sobre diarrea de los viajeros/turistas

- Kean, B.H. "Turista in Teheran". *The Lancet*. II: 583-584. Septiembre, 13, 1969.

VIRUS

Introducción

"Han transcurrido treinta años desde que se iniciaron, en forma seria, los estudios sobre la presencia de virus entéricos en el agua; sin embargo, el significado que tiene tal contaminación en la salud pública necesita aún ser evaluado" (OMS, 1979). Se sabe que en las heces humanas se expulsan más de 100 tipos diferentes de virus. Una persona infectada podría expulsar más de 1'000,000 de partículas de virus infecciosas por gramo de heces. Los virus son comunes en las aguas residuales. Estos pueden sobrevivir durante meses en el agua, el suelo y los mariscos, pudiendo resistir a algunos procesos de tratamiento.

En el cuadro 2-4 se resumen los virus humanos que pueden estar presentes en el agua. Estos virus

Cuadro 2-4 Virus entéricos del hombre que pueden estar presentes en el agua.

Grupo de virus	No. de tipos	Enfermedad causada
Enterovirus:		
Virus de la polio	3	Parálisis, meningitis, fiebre.
Ecovirus	34	Meningitis, enfermedades respiratorias, erupciones, diarrea, fiebre.
Coxsackievirus A	24	Herpangina, enfermedades respiratorias, meningitis, fiebre.
Coxsackievirus B	6	Miocarditis, anomalías cardíacas congénitas, erupciones, fiebre, meningitis, enfermedades respiratorias, pleurodinia.
Enterovirus nuevos	4	Meningitis, encefalitis, enfermedades respiratorias, conjuntivitis hemorrágica aguda, fiebre.
Hepatitis tipo A (probablemente un enterovirus)	1	Hepatitis infecciosa.
Virus de la gastroenteritis (agentes del tipo Norwalk)	2	Vómitos y diarreas epidémicos, fiebre.
Rotavirus (familia Reoviridae)	?	Vómitos y diarreas epidémicos, principalmente en niños.
Reovirus	3	No claramente establecido.
Adenovirus	+ de 30	Enfermedades respiratorias, infecciones a los ojos.
Parvovirus (asociado a los adenovirus)	3	Asociados a enfermedades respiratorias infantiles, pero sin etiología claramente establecida.

Nota: Otros virus que debido a su estabilidad pueden contaminar el agua son los siguientes:

1. Papovavirus del tipo SV40, que aparecen en la orina. El subtipo JC está asociado con la leucoencefalopatía multifocal progresiva.
 2. Virus de la enfermedad de Creutzfeld-Jacob (C-J). Al igual que el virus de la comezón de las ovejas (scrapie), el virus C-J resiste al calor y al formaldehído. Produce una encefalopatía esponjiforme, caracterizada por una severa demencia progresiva y ataxia.
- Fuente: Organización Mundial de la Salud. "Human Viruses in Water, Wastewater and Soil". WHO Technical Report Series 639. Ginebra: P. 1979.

se asocian con una larga lista de enfermedades, incluyendo enfermedades sistémicas y del sistema nervioso central. Sin embargo, los informes autenticados son escasos. Los virus para los cuales el agua desempeña probablemente un rol importante en la transmisión de la enfermedad son: el virus A de la hepatitis, el virus tipo Norwalk de la gastroenteritis y los rotavirus. La evidencia para estos virus es tan grande que el Grupo Científico de la OMS recomienda que "todos los abastecimientos de agua provenientes de fuentes contaminadas con virus deben ser desinfectadas".

Virus A de la hepatitis

La hepatitis viral, una enfermedad a nivel mundial, es común en los lugares con saneamiento ambiental deficiente. Se presenta a una edad temprana y es transmitida de persona a persona. Frecuentemente se producen brotes de vehículo común debido a agua o alimentos contaminados, especialmente leche y mariscos. La enfermedad varía de leve hasta fulminante, con fiebre, anorexia, malestar e ictericia. El índice de mortalidad es bajo. Las

medidas preventivas recomendadas incluyen educación sobre higiene y salud, higiene personal, adecuada disposición de las excretas y un cuidadoso lavado de las manos.

Diarreas virales

Los agentes virales que comúnmente causan diarrea incluyen por lo menos dos tipos con diferencias epidemiológicas distintivas: enfermedades del tipo Norwalk y rotavirus.

ENFERMEDADES VIRALES DEL TIPO NORWALK

Estas son enfermedades que presentan una aguda gastroenteritis de origen viral y que reciben su nombre del lugar en el cual fueron identificadas por primera vez (Norwalk, Hawaii; Ditchling y otros). Sus propiedades biofísicas son similares a las de los parvovirus. Actualmente se encuentran diseminadas a nivel mundial. No se conoce completamente su forma de transmisión, pero es probable que sea fe-

cal-oral. Algunos brotes sugieren fuertemente una transmisión a través de alimentos y el agua. Todos los grupos generacionales parecen ser vulnerables. Estos virus probablemente no constituyen una causa importante de las enfermedades diarreicas graves de los infantes y niños (Kapikian y otros, 1972). Esta enfermedad también se conoce como "mal invernal del vómito".

ROTAVIRUS

Los rotavirus se asocian con enfermedades diarreicas severas que afectan principalmente a infantes y niños pequeños, con un alto índice de mortalidad en los países en vías de desarrollo. Ellos fueron identificados sólo la década pasada (1973); sin embargo, desde hace mucho tiempo se pensaba en un patógeno viral de la diarrea. La estabilidad del virus, junto con las grandes cantidades que se expulsan en las excretas, hacen que la contaminación ambiental sea casi inevitable (Banatvala, 1979).

Bibliografía sobre virus entéricos

- Banatvala, J.E. "The Role of Viruses in Acute Diarrhoeal Disease" (El rol de los virus en las enfermedades diarreicas agudas). *Clinics in Gastroenterology*. 8(3): 569-598. 1979.
- Berg, Gerald. "The Virus Hazard in Water Supplies" (El peligro de los virus en los abastecimientos de agua). *Journal New England Water Works Association* 78(2): 79-104. 1964.
- Berg, Gerald, editor. *Transmission of Viruses by the Water Route* (Transmisión de virus por la ruta del agua). Interscience Publishers, Nueva York, 256 págs. 1966.
- Berg, Gerald y otros, editores. *Viruses in Water* (Virus en el agua). American Public Health Association, Washington. 256 págs. 1976.
- Bitton, Gabriel. "Survival of Enteric Viruses" (Supervivencia de virus entéricos). En: Mitchell, Ralph, editor. 'Water Pollution Microbiology', Vol. 2, John Wiley & Sons, Nueva York. Págs. 273-299. 1978.
- Chang, Shih L. "Waterborne Viral Infections and Their Prevention" (Infecciones virales transmitidas por el agua y su prevención). *Bulletin World Health Organization*. 38: 401-414. 1968.
- Comité de la AWWA sobre Virus en el Agua Potable. "Viruses in Drinking Water" (Virus en el Agua Potable). *Journal American Water Works Association*. 71(18): 441-444. 1979.
- Fox, John P. "Epidemiological Aspects of Coxsackie and Echo Virus Infections in Tropical Areas" (Aspectos epidemiológicos de las infecciones por virus Coxsackie y Echo en áreas tropicales). *American Journal of Public Health*. 54(7): 1134-1142. 1964.
- Johnson, Karl M. "Enteroviruses: Coxsackie and ECHO Virus Infections" (Virus entéricos: Infecciones de los virus Coxsackie y ECHO). Cap. 24 en: Top, Franklin H. y Wehrle, Paul F., editores, 'Communicable and Infectious Diseases', octava edición, C.V. Mosby Company, Saint Louis. Págs. 252-259. 1976.
- Kapikian, A.Z. y otros. "Visualization by Immune Electron Microscopy of a 27-nm Particle Associated with Acute Infectious Gastroenteritis" (Visualización mediante un microscopio de electrones inmune de una partícula de 27-nm asociada a la gastroenteritis infecciosa aguda). *Journal Virology*. 10(5): 1075-1081. 1972.
- Lerner, A. Martin. "Enteric Viruses: Coxsackie Viruses, Echo Viruses, Reoviruses" (Virus entéricos: Coxsackie, Echo y Reovirus). Cap. 193 en: Thorn, George W. y otros, editores, 'Harrison's Principles of Internal Medicine', octava edición, McGraw-Hill Book Co., Nueva York. Págs 981-987. 1977.
- Melnick, Joseph L. "Detection of Virus Spread by the Water Route" (Detección de la propagación de los virus mediante la ruta del agua). En: Snoeyink, Vernon y Griffin, Virginia, editores, 'Virus and Water Quality (Proceedings, 13th Water Quality Conference)', University of Illinois, Urbana-Champaign. Págs. 114-125. 1971.
- Mosley, James W. "Transmission of Viral Diseases by Drinking Water" (Transmisión de enfermedades virales mediante el agua potable). En: Berg, Gerald, editor, 'Transmission of Viruses by the Water Route', Interscience Publishers, Nueva York. Págs. 5-23. 1966.
- Rao, N.U. "Geographic Considerations in Virus Removal in Asia" (Consideraciones geográficas en la eliminación de virus en Asia). En: Berg, Gerald y otros, editores, 'Viruses in Water', American Public Health Association, Washington. Págs. 236-246. 1976.
- Slade, J.S. "Enteroviruses in Slow Sand Filtered Water" (Virus entéricos en agua con filtración lenta). *Journal Institution of Water Engineers and Scientists*. 32(6): 530-536. 1978.
- Snoeyink, Vernon y Griffin, Virginia, editores. 'Virus and Water Quality' (Virus y calidad del agua) (Actas de la 13a. Conferencia sobre Calidad del Agua). University of Illinois, Urbana-Champaign. 224 págs. 1971.
- Sobsey, Mark D. "Source Document on Enteric Viruses" (Documento fuente sobre virus entéricos). 'Report to Environmental Services Corp', Chapel Hill, N.C. 79 págs. 1979.
- Top, Franklin H., Johnson, Karl M. y Wehrle, Paul F. "Enteroviruses. Poliomyelitis". Cap. 25 en: Top, Franklin H. y Wehrle, Paul F., editores, 'Communicable and Infectious Diseases', octava edición, C.V. Mosby Company, Saint Louis. Págs. 260-278. 1976.
- Winstein, Louis, "Poliomyelitis". Cap. 198 en: Thorn, George W. y otros, editores, 'Harrison's Principles of Internal Medicine', octava edición, McGraw-Hill Book Co., Nueva York. Págs. 999-1005. 1977.
- Work, Telford H. "Enteric Virus Diseases" (Enfermedades por virus entéricos). Cap. 2 en: Hunter, George W., III, Swartzwelder, J. Clyde y Clyde, Davis F. 'Tropical Medicine'. Quinta edición. W.B. Saunders, Filadelfia. Págs. 57-70. 1976.

Bibliografía sobre rotavirus y virus Norwalk

- Bolívar, R. y otros. "Rotavirus in Travellers' Diarrhoea: Study of an Adult Student Population in Mexico" (Rotavirus en la diarrea de viajeros: Estudio de una población de estudiantes adultos en México). *Journal of Infectious Diseases*. 137: 324-327. 1978.
- Dolin, Raphael. "Viral Gastroenteritis Caused by Norwalk-like Agents and Rotaviruses" (Gastroenteritis viral causada por agentes del tipo Norwalk y rotavirus). En: Besson, Paul B., McDermott, Walsh y Wyngaarden, James B., editores, 'Cecil Textbook of Medicine', 15ta. edición, W.B. Saunders Co., Filadelfia. Págs. 305-306. 1979.
- Foster, S.O. y otros. "Gastroenteritis Due to Rotavirus in an Isolated Pacific Island Group: An Epidemic of 3,439 Cases" (Gastroenteritis debido a rotavirus en un archipiélago aislado en El Pacífico: Una epidemia de 3,439 casos). *Journal of Infectious Diseases*. 141(1): 32-39. 1980.
- Kapikian, A.Z. y otros. "Human Reovirus-like Agent as the Major Pathogen Associated with 'Winter' Gastroenteritis in Hospitalized Infants and Young Children" (Agente del tipo Reovirus en el hombre como el principal patógeno asociado a la gastroenteritis de invierno en infantes y niños pequeños hospitalizados). *New England Journal of Medicine*. 294: 965-972. 1976.
- Metselaar, D., Sack, D.A., Kapikian, A.Z. y Muller, A.S. "Machakos Project Studies/Agents Affecting Health of Mother and Child in a Rural Area of Kenya. XI. Antibodies Against Rotaviruses in Sera from Children Living in the Machakos District of Kenya" (Estudios Proyecto Machakos/Agentes que afectan la salud materno-infantil en un área rural de Kenya. XI. Anticuerpos contra rotavirus en sueros de niños pobladores del distrito Machakos de Kenya). *Tropical and Geographic Medicine*. 30(4): 531-535. 1978.
- Paniker, C.K.J. y otros. "Epidemic Gastroenteritis in Children Associated with Rotavirus Infection" (Gastroenteritis epidémica en niños, asociada con infección por rotavirus). *Indian Journal Medical Research*. 66(4): 525-529. 1977.
- Walker-Smith, John. "Rotavirus Gastroenteritis". *Archives of Disease in Childhood*. 53: 335-362. 1978.
- Wyatt, Richard G. y otros. "Diarrhea Associated with Rotavirus in Rural Guatemala: A Longitudinal Study of 24 Infants and Young Children" (Diarrea asociada con rotavirus en la Guatemala rural: Un estudio longitudinal de 24 infantes y niños pequeños). *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 28(2): 325-328. 1979.
- geniería del peligro de los virus en el agua). *Journal Sanitary Engineering Division, American Society Civil Engineers*. 96(SAI): 11-161. 1970.
- Fox, John P. "Human-Associated Viruses in Water" (Virus asociados al hombre en el agua). En: Berg, Gerald y otros, editores, 'Viruses in Water', American Public Health Association, Washington. Págs. 39-49. 1976.
- Goldfield, Martin. "Epidemiological Indicators for Transmission of Viruses by Water" (Indicadores epidemiológicos de la transmisión de virus por agua). En: Berg, Gerald y otros, editores, 'Viruses in Water', American Public Health Association, Washington. Págs. 70-85. 1976.
- Green, D.M. y otros. "Waterborne Outbreak of Viral Gastroenteritis and Sonne Dysentery" (Brotos transmitidos por agua de gastroenteritis viral y disentería de Sonne). *Journal of Hygiene (Cambridge)*. 66: 383-392. 1968.
- Grupo Científico de la Organización Mundial de la Salud. "Human Viruses in Water, Wastewater and Soil" (Virus del hombre en el agua, aguas residuales y el suelo). WHO Technical Report Series 639. Ginebra. 50 págs. 1979.
- Kakulas, Byron y Adams, Raymond D. "Viral Infections of the Nervous System: Aseptic Meningitis and Encephalitis" (Infecciones virales del sistema nervioso: Meningitis y encefalitis asépticas). Cap. 338 en: Thorn, George W. y otros, editores, 'Harrison's Principles of Internal Medicine', octava edición, McGraw-Hill Book Co., Nueva York. Págs. 1895-1899. 1977.
- Kapikian, Albert Z. y otros. "Viral Diarrhea, Etiology and Control" (Diarrea viral, etiología y control). *American Journal Clinical Nutrition*. 31(12): 2219-2236. 1978.
- Lund, E. "The Survival of Viral Pathogens in Water and Waste in the Tropics" (La supervivencia de patógenos virales en el agua y los residuos en el trópico). *Progress in Water Technology*. 11(1/2): 73-79. 1978.
- Mahdy, M.S. "Viruses in the Water Environment: An Underestimated Problem" (Virus en el ambiente acuático: Un problema subestimado). *Journal American Water Work Association*. 71(8): 445-449. 1979.
- Melnick, Joseph L., Gerba, Charles P. y Wallis, Craig. "Viruses in Water". *Bulletin World Health Organization*. 56(4): 499-508. 1978.
- Metcalf, Theodore G. "Indicators for Viruses in Natural Waters" (Indicadores de virus en aguas naturales). En: Mitchell, Ralph, editor, 'Water Pollution Microbiology, Vol. 2, John Wiley and Sons, Nueva York. Págs. 301-324. 1978.
- Westwodd, J.C.N. y Sattar, S.A. "The Minimal Infective Dose" (La dosis infecciosa mínima). En: Berg, Gerald y otros, editores, 'Viruses in Water', American Public Health Association, Washington. Págs. 61-69. 1976.

Bibliografía sobre virus (incluyendo polio)

- Chaturvedi, U.C. y otros. "The Problem of Paralytic Poliomyelitis in the Urban and Rural Population Around Lucknow, India" (El problema de la poliomiélitis paralítica en la población urbana y rural alrededor de Lucknow, India). *Journal Hygiene (Cambridge)*. 81: 179-187. 1978.
- Comité de Control de la Calidad Ambiental. "Engineering Evaluation of Virus Hazard in Water" (Evaluación de in-

GIARDIASIS

Introducción

La giardia-enteritis es una infección del intestino delgado superior causada por un protozooario

(*Giardia lamblia*). Frecuentemente asintomática, puede presentar diarrea crónica, esteatorrea, cólicos abdominales, frecuentes deposiciones sueltas, pálidas, grasosas y fétidas, fatiga y pérdida de peso. Esta enfermedad se presenta a nivel mundial en áreas de saneamiento deficiente. Desde 1970, en los Estados Unidos se han reportado aproximadamente 30 brotes transmitidos por agua, afectando a más de 10,000 personas. La Giardiasis es frecuente en el trópico, afectando a los niños en un mayor porcentaje que a los adultos. Los índices más altos se presentan en los niños que sufren de desnutrición (Knight, 1978).

La transmisión es fecal-oral, a través del agua, los alimentos y de mano a boca, siendo el agua una fuente común de las epidemias, debido en parte a que las concentraciones usuales de cloro empleadas para la desinfección del agua no matan a los quistes de la giardia. Asimismo existe alguna evidencia de contaminación de los abastecimientos de agua por parte de animales, en particular, castores.

El rol del agua

Los informes a partir de 1970 sobre giardiasis epidémica transmitida por el agua a personas que viajaban a la Unión Soviética pueden haber sido responsables de la mayor atención que se viene prestando a esta enfermedad en el interior de los Estados Unidos. Desde entonces, se cuenta con información sobre una gran cantidad de pequeños brotes de giardia transmitida por el agua, incluyendo una epidemia producida en Rome, Nueva York, en 1974-75 y que afectara a unas 5,000 personas (Craun, 1979). Los brotes de Giardiasis se han producido también en comunidades con abastecimientos de agua filtrados: Camas, Washington (Kirner y otros, 1978) y Berlín, New Hampshire (Lippy, 1978).

Un Simposium sobre Transmisión de Giardiasis a través del Agua, llevado a cabo en 1978, brinda un excelente panorama del conocimiento que se tiene actualmente sobre esta enfermedad (Jakubowski y Hoff, 1978).

Bibliografía sobre giardiasis

- Beard, Rodney R. "Epidemic Giardiasis". *New England Journal of Medicine*. 281: 853. 1969.
- Craun, Gunther F. "Waterborne Giardiasis in the United States: A Review" (Giardiasis transmitida por agua en

los Estados Unidos. Una revisión). *American Journal of Public Health*. 69(8): 817-819. 1979.

- Jakubowski, W. y Hoff, J.C., editores. "Waterborne Transmission of Giardiasis" (Transmisión por agua de la giardiasis). U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati. 306 págs. 1978.
- Juranak, D. "Waterborne Giardiasis" (Giardiasis transmitida por agua). En: Jakubowski, W. y Hoff, J.C., editores "Waterborne Transmission of Giardiasis", U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati. Págs. 150-161. 1978.
- Juniper, Kerrison, Jr. "Nonamebic Protozoal Enteritides" (Enteritidis protozoarias no amebicas). Cap. 64 en: Hoeprich, Paul D., editor, "Infectious Diseases", segunda edición, Harper & Row, Publishers, Hagerstown, Md. Págs. 583-587. 1977.
- Kirner, J.C., Littler, J.D. y Angelo, L.A. "A Waterborne Outbreak of Giardiasis in Camas, Wash". (Una epidemia de giardiasis transmitida por agua en Camas, Washington). *Journal American Water Works Association*. 70(1): 35-40. 1978.
- Knight, R. "Giardiasis, Isoporiasis and Balantidiasis". *Clinics in Gastroenterology*. 7(1): 31-47. 1978.
- Lippy, E.C. "Water Supply and Problems Associated with A Waterborne Outbreak of Giardiasis" (Abastecimiento de agua y problemas asociados con una epidemia de giardiasis transmitida por el agua). En: Jakubowski, W. y Hoff, J.C., editores. "Waterborne Transmission of Giardiasis", US Environmental Protection Agency, Cincinnati. Págs. 164-173. 1978.
- Lippy, Edwin C. "Tracing a Giardiasis Outbreak at Berlin, New Hampshire" (Rastreado un brote de giardiasis en Berlín, New Hampshire). *Journal American Water Works Association*. 70(9): 512-520. 1978.
- Meyer, Ernest A. y Jarroll, Edward L. "Giardiasis". *American Journal of Epidemiology*. 111(1): 1-12. 1980.
- Moore, Gordon T. y otros. "Epidemic Giardiasis at a Ski Resort" (Giardiasis epidémica en un campo de esquí). *The New England Journal of Medicine*. 281(8): 402-407. 1969.
- Schultz, Myron G. "Giardiasis". *Journal American Medical Association*. 233(13): 1383-1384. 1975.
- Wanner, R.G., Atchley, F.O. y Wasley, M.A. "Association of Diarrhea with *Giardia lamblia* in Families Observed Weekly for Occurrence of Enteric Infections" (Asociación entre diarreas y *Giardia lamblia* en familias observadas semanalmente para detectar la presencia de infecciones entéricas). *American Journal Tropical Medicine and Hygiene*. 12: 851-853. 1963.
- Wolfe, Martin S. "Giardiasis". *Journal American Medical Association*. 233(13): 1362-1365. 1975.

OTROS VIBRIONES APARTE DEL CÓLERA

Gran parte de los casos de gastroenteritis son ocasionados por especies de vibriones que no son el vibrion cólera, es decir, la bacteria que produc

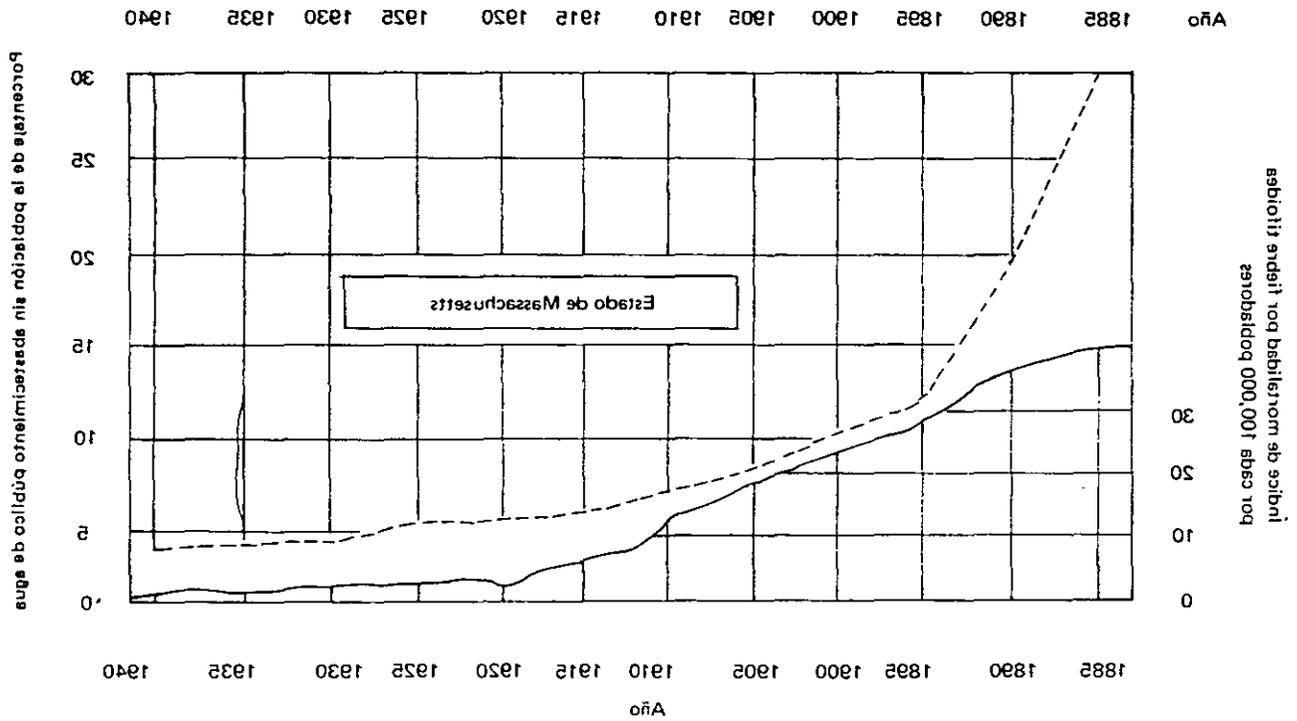


Figura 2-1 Tasa de incidencia de la tifoidea versus abastecimiento de agua a través del tiempo: Massachusetts. (Fuente: Fair y colaboradores, 1966.)

La figura 2-1 es ilustrativa. La figura 2-2 repitió la experiencia para la Grecia de post-guerra durante la reconstrucción. El cuadro 2-5 muestra los primeros estudios realizados por Wade Hampton Frost, entonces con el Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos, en el río Ohio, donde la iniciación del tratamiento del agua redujo el índice de muertes por tifoidea en más de un 80%. Un estudio de Johnson para otras ciudades (1916) mostró una reducción del 64% (véase el cuadro 2-6).

Para los Estados Unidos, "la mejora de los sistemas públicos de abastecimiento de agua ha sido el factor individual más importante en el descenso de la tifoidea" (Anderson, Arntsen y Lester, 1962, págs. 220). Europa tuvo experiencias similares (Moore, 1971).

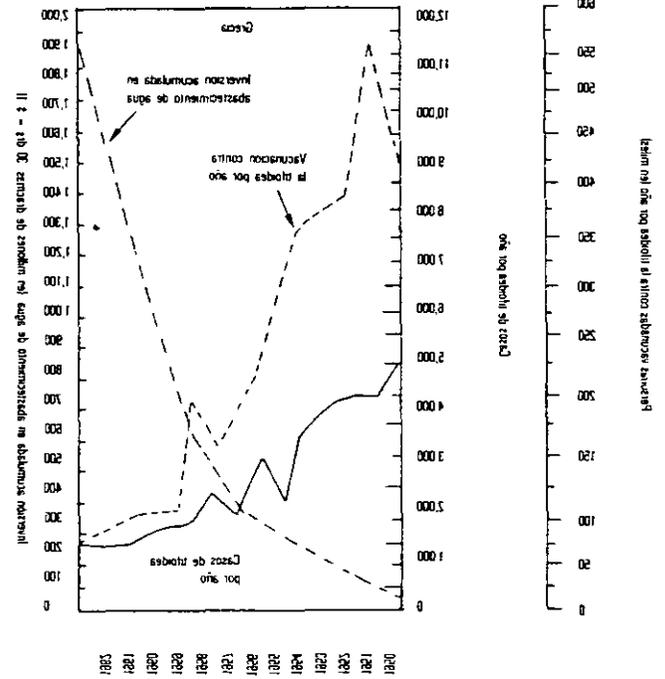


Figura 2-2 Casos de tifoidea y vacunación vs. Abastecimiento de agua en el tiempo: Grecia. (Fuente: Costopoulos, 1968.)

el cólera. Ellos causan casos esporádicos y brotes de enfermedades similares al cólera, pero no se han asociado a epidemias grandes o pandemias. Comprenden por lo menos seis especies, siendo las más comunes: *V. cholerae* (no 01) y *V. parahemolyticus*.

Al *V. cholerae* (no 01), se le denomina así debido a que no se aglutina en el antisuero 1 grupo O *V. cholerae*, una prueba bioquímica para identificar al *V. cholerae*. A los *V. cholerae* (no 01) siempre se les ha conocido como "otros vibriones aparte del cólera" (NAG). Las cepas de *V. cholerae* (no 01) están ampliamente distribuidas en el medio ambiente asiático, europeo y norteamericano, especialmente en las aguas residuales, las aguas estuarias y los mariscos (Blake, 1980). Parecen ser especies bacterianas estuarias autóctonas (de origen local). Son patógenos (Spira, en impresión), pero se desconoce la proporción de enfermedades diarreicas asociadas a estos organismos (Blake, 1980). La transmisión probablemente se produzca casi exclusivamente a través de alimentos o agua contaminados (Blake, 1980). Se ha informado documentalmente sobre un brote producido en Sudán debido a un pozo de agua contaminado (OMS, 1969).

El *V. parahemolyticus* se reconoció primero como una causa de la toxicidad de los alimentos a principio de la década de los 50 en Japón; desde entonces, se ha descubierto que es una causa importante de enfermedades diarreicas en muchos lugares del mundo. Parece ser que se transmite casi exclusivamente a través de alimentos, particularmente de aquellos del medio ambiente marino.

Bibliografía sobre otros vibriones aparte del cólera

- Blake, Paul A., Weaver, Robert E. y Hollis, Dannie G. Diseases of Humans (Other Than Cholera) Caused by Vibrios" (Enfermedades del hombre (aparte del cólera) causados por vibriones). *Annual Review of Microbiology*. 1980.
- Hughes, James M. y otros. "Vibrio Parahemolyticus Enterocolitis in Bangladesh: Report of an Outbreak" (Enterocolitis causada por *V. parahemolyticus* en Bangladesh: Informe de un brote). *American Journal Tropical Medicine and Hygiene*. 27(1): 106-112. 1978.
- Hughes, James M., Hollis, Dannie G., Gangarosa, Eugene J. y Weaver, Robert E. "Non-Cholera Vibrios Infections in the United States, Clinical Epidemiologic, and Laboratory Features" (Infecciones causadas por vibriones aparte del cólera en los Estados Unidos, características clínicas, epidemiológicas y de laboratorio). *Annals of Internal Medicine*. 88(6): 602-606. 1978.

Organización Mundial de la Salud. "Outbreak of Gastroenteritis by Non-Agglutinable (NAG) Vibrios" (Brotos de gastroenteritis debido a vibriones no aglutinables (NAG)). *WHO Weekly Epidemiological Record*. 44: 10. 1969.

Spira, W.M. y Daniel, R.R. 'Proceedings 15th Joint Conference on Cholera, US-Japan Cooperative Medical Science Program' (Actas de la 15a. Conferencia Conjunta sobre el Cólera, Programa Científico de Cooperación Médica EE.UU. -Japón). En impresión.

FIEBRE TIFOIDEA

Introducción

La fiebre tifoidea es una enfermedad infecciosa sistémica, caracterizada por presentar fiebre continua, dolor de cabeza, anorexia, pulso débil, manchas rosadas en el tronco, estreñimiento más comúnmente que diarreas y, en ocasiones, hemorragia o perforación intestinal. El índice de mortalidad en el caso de enfermedades no tratadas puede llegar al 10%. Se producen casos leves y poco evidentes, especialmente en las áreas endémicas (Benenson, 1981). El agente infeccioso es el *Salmonella typhi* o bacilo de la tifoidea.

Esta enfermedad se presenta a nivel mundial, propagándose a través de alimentos o agua contaminados por las heces u orina de un paciente o portador. Los moluscos y la leche son también importantes vehículos de transmisión.

Historia

El hecho de que la tifoidea es una enfermedad transmisible por agua fue descubierto ya en 1839 por el Dr. William Budd, un médico inglés, quién describió su transmisión a través del agua unas tres décadas antes de que se identificara al bacilo. En realidad, el famoso informe de Budd fue precedido por el del Dr. Austin Flint, en base a un estudio poco conocido de una epidemia en North Boston, Nueva York, un año antes del informe de Budd.

De esta manera, la tifoidea fue la primera enfermedad identificada como transmisible por agua, junto con el cólera. Sin embargo, después de su aparición pandémica en 1873, raramente se identificó al cólera en los Estados Unidos. La tifoidea se convirtió en la unidad normativa de todas las enfermedades transmitidas por medio del agua en los Estados Unidos, por lo que fue estudiada profundamente por los primeros ingenieros sanitarios y epi-

Cuadro 2-5 Índices de mortalidad por tifoidea en 26 ciudades del río Ohio sin plantas de tratamiento de agua en 1906 y para las mismas ciudades en 1914 luego de iniciado el tratamiento del agua en 16 de ellas.

Número de ciudades/estado del tratamiento de agua	Índice de mortalidad por tifoidea por cada 1,000 pobladores	
	en 1906	en 1914
10 ciudades		
Sin tratamiento en 1906	76.8	74.5
Sin tratamiento en 1914		
16 ciudades		
Sin tratamiento en 1906	90.5	15.3
Sin tratamiento en 1914		

Nota: La fuente de abastecimiento de agua no cambió entre 1906 y 1914 en ninguna de las ciudades.
Fuente: Frost (1941).

Cuadro 2-6 Reducción de los índices de mortalidad por fiebre tifoidea en ciudades norteamericanas luego de adoptar el sistema de filtración en su abastecimiento público de agua (promedios para cinco años antes y cinco años después de la filtración).

Ciudad	Tasas promedio de mortalidad por fiebre tifoidea		Porcentaje de reducción en las tasas de mortalidad por fiebre tifoidea luego de la filtración de los sistemas de abastecimiento de agua
	Antes de la filtración	Después de la filtración	
Albany, N.Y.	109	28	74
Charleston, S.C.	106	62	41
Cincinnati, O.	56	11	80
Columbus, O.	83	17	78
Harrisburg, Pa.	72	33	54
Hoboken, N.J.	18	13	28
Indianapolis, Ind.	46	28	39
Lawrence, Mass.	110	23	79
Louisville, Ky.	57	24	58
New Haven, Conn.	40	25	38
New Orleans, La.	39	26	33
Paterson, N.J.	29	9	69
Philadelphia, Pa.	63	20	68
Pittsburgh, Pa.	132	19	85
Providence, R.I.	19	13	31
Reading, Pa.	53	35	34
Scranton, Pa.	25	10	60
Springfield, Mass.	22	22	0
Washington, D.C.	55	31	43
Washington, Del.	35	24	31
Promedios ponderados	60	21	65

Fuente: Johnson (1916).

Las campañas militares y los desastres producían frecuencia brotes virulentos. Durante el siglo XIX, en muchas campañas, el número de muertos por tifoidea excedía al de caídos en la batalla.

La tifoidea dio también su nombre a su más famosa portadora, Mary "Tifoidea" Mallon, una cocinera de las familias de clase alta de Nueva York y de los hospitales, que fue responsable de numerosos brotes.

En los Estados Unidos, la tifoidea es rara. Sin embargo, en los países que todavía tienen sistemas inadecuados de abastecimiento de agua y saneamiento, ella continúa siendo un significativo problema para la salud pública.

Tanto en los Estados Unidos como en Inglaterra, la tifoidea y el cólera fueron factores importantes en sus reformas sanitarias, sintetizadas en el trabajo de Edwin Chadwick y Lemuel Shattuck.

Causas de la tifoidea

La fiebre tifoidea, a diferencia de la mayor parte de las otras salmonelosis, se limita estrictamente al hombre. La infección se produce por la ingestión de *S. typhi*, en un rango delimitado experimentalmente entre los 1,000 a 100,000 organismos. La dosis de infección es probablemente menor en los contagios naturales. Las fuentes de infección las constituyen los enfermos o, más frecuentemente, los portadores, que eliminan los *S. typhi* en sus deposiciones y orina.

La epidemiología de la tifoidea ha sido exhaustivamente estudiada. Las numerosas observaciones no dejan duda en cuanto al rol de los alimentos y el agua (Cvjetanovic, 1973). La infección se transmite frecuentemente a través de agua contaminada. Como el *S. typhi* puede sobrevivir en el agua de mar, son particularmente peligrosos los mariscos, especialmente aquellos dotados de conchas, recolectados en las cercanías de las desembocaduras de desagües.

Prevención contra la tifoidea

Las medidas preventivas incluyen la detección y el tratamiento de portadores, la inmunización y la higiene personal y comunitaria, particularmente en cuanto al suministro de sistemas adecuados de agua y disposición de excretas. La inmunización es efectiva, pero pierde su efecto ante grandes dosis de organismos *S. typhi*, 10^9 o más (Cvjetanovic,

1973). Un modelo epidémico (Cvjetanovic, Grab y Uemura, 1971) que utilizó datos de costos para el sudeste asiático, demostró que el saneamiento es una medida de control más efectiva en cuanto a costos que la inmunización, si se considera la influencia del saneamiento sobre el control de otras enfermedades.

El éxito de las instalaciones de abastecimiento en los Estados Unidos en la reducción de la incidencia de la fiebre tifoidea se ha repetido en muchas regiones del mundo en desarrollo. Bahl (1976); Misra (1971), Zaheer y otros (1962) y Zebec (1980, informando sobre trabajos en la década de los 20), describen reducciones espectaculares de la tifoidea en ciudades de Zambia, India y Yugoslavia, luego de la introducción de abastecimientos comunitarios de agua.

FIEBRE PARATIFOIDEA

Introducción

La fiebre paratifoidea es una fiebre entérica bacteriana, similar clínicamente a la fiebre tifoidea, pero generalmente más suave y con un menor índice de mortalidad. Presenta infecciones leves y asintomáticas.

Se reconocen tres grupos principales de agentes infecciosos:

- *Salmonella paratyphi A*,
- *Salmonella paratyphi B (S. schottmulleri)*,
- *Salmonella paratyphi C (S. hirschfeldii)*,

todas ellas de origen predominantemente humano.

La transmisión es fecal-oral, a través de los alimentos o de las personas que los manipulan. Los brotes ocasionales están relacionados con sistemas de abastecimiento de agua, incluyendo el agua para nadar.

Prevención

Las medidas preventivas son similares a las de la tifoidea. Sin embargo, las vacunas normales son menos efectivas.

Bibliografía sobre tifoidea y paratifoidea

Anderson, Gaylord W., Arnstein, Margaret G. y Lester, Mary R. 'Communicable Disease Control' (Control de en-

- fermedades contagiosas), cuarta edición, McMillan Co., Nueva York. 606 págs. 1962.
- Bahl, M.R. "Impact of Piped Water Supply on the Incidence of Typhoid Fever and Diarrhoeal Diseases in Lusaka" (Impacto del abastecimiento entubado de agua sobre la incidencia de la fiebre tifoidea y de las enfermedades diarreicas en Lusaka). *Medical Journal of Zambia*. 10(4): 98-99. 1976.
- Baine, William B. "Legionnaires Disease: Epidemiology and Clinics Characteristics" (La enfermedad de los legionarios: Epidemiología y características clínicas). En: Jones, Gilda L. y Hevert, G. Ann, editores, "Legionnaires"/The Disease, the Bacterium and Methodology" ("Legionarios"/La enfermedad, la bacteria y la metodología), Center for Disease Control, Atlanta, págs. 23-28. 1978.
- Baine, William B. y otros. "Typhoid Fever in the United States Associated with the 1972-1973 Epidemic in Mexico" (La fiebre tifoidea en los Estados Unidos asociada con la epidemia de 1972-1973 en México). *The Journal of Infectious Diseases*. 135(4): 649-653. 1977.
- Bender, U. von. "Paratyphusepidemie durch Havarie im Trinkwassernetz". *Zeitschrift für die Gesamte Hygiene und Ihre Grenzgebiete*. 21: 778-782. 1975.
- Benenson, Abram S., editor. 'Control of Communicable Diseases in Man' (Control de las enfermedades contagiosas del hombre). 13a. edición. American Public Health Association, Washington. 443 págs. 1981.
- Bernard, R.P. "The Zermatt Typhoid Outbreak in 1963" (La epidemia de tifoidea de 1963 en Zermatt). *Journal of Hygiene (Cambridge)*. 63(4): 537-563. 1965.
- Budd, William. "Typhoid Fever: Its Nature, Mode of Spreading and Prevention" (Fiebre tifoidea: Su naturaleza, su modo de difusión y su prevención). Londres, 184 págs. 1874. Reimpreso para Delta Omega por la American Public Health Association. 1931.
- Cvijetanovic, C. "Control of Enteric Fever". *Singapore Medical Journal*. 17: 38-39. 1976.
- Cvijetanovic, B. "Typhoid Fever and Its Prevention" (La fiebre tifoidea y su prevención). *Public Health Reviews*. II(3): 229-246. 1973.
- Cvijetanovic, B., Grab, B. y Uemura, K. "Epidemiological Evaluation of Typhoid Fever and its Use in the Planning and Evaluation of Antityphoid Immunization and Sanitation Programmes" (Un modelo epidemiológico de la fiebre tifoidea y su uso en la planificación y evaluación de los programas de inmunización contra la tifoidea y de saneamiento). *Bulletin World Health Organization*. 45: 53-75. 1971.
- Costopoulos, J.M. "Water Supply and Public Health" (Abastecimientos de agua y salud pública). International Conference on Water for Peace. 7: 952-958. US Government Printing Office, Washington. 1968.
- Fair, Gordon M. Geyer, John C. y Okun, Daniel A. "Water and Wasterwater Engineering" (Ingeniería de agua y aguas residuales), Vol. 1, págs. 1-16. Wiley, Nueva York. 1966.
- Flint, Austin. 'Clinical Reports on Continued Fever, Based on Analyses of One Hundred and Sixty-Four Cases... to Which is Added a Memoir on the Transportation and Diffusion by Contagion of Typhoid Fever' (Informes clínicos sobre fiebre continua, basados en el análisis de ciento sesenta y cuatro casos... añadiéndose una nota sobre el transporte y la difusión por contagio de la fiebre tifoidea). Lindsay & Blakiston, Filadelfia, 309 págs. 1855.
- Franklin, Joseph P. y Halliday, C.H. "A Water-borne Outbreak of Paratyphoid A Fever" (Un brote de fiebre paratifoidea A transmitida por agua). *Canadian Public Health Journal*. 28: 82-87. 1937.
- Frost, Wade Hampton. 'Papers of Wade Hampton Frost, M. D. A Contribution to Epidemiological Methods' (Documentos del Dr. Wade Hampton Frost. Una contribución a los métodos epidemiológicos). Kenneth F. Maxey, editor. Commonwealth Fund, Nueva York, 628 págs. 1941.
- González-Cortéz, Abel y otros. "Water-Borne Transmission of Chloramphenicol-Resistant Salmonella typhi in Mexico" (Transmisión por agua de Salmonella typhi resistente al cloranfenicol en México). *The Lancet*. II: 605-607. Septiembre 15, 1973.
- Healy, William A. y Grossman, Richard P. "Water-Borne Typhoid Epidemic at Keene, New Hampshire" (Tifoidea epidémica transmitida por agua en Keene, New Hampshire). *Journal New England Water Works Association*. 75: 38-52. 1961.
- Hornick, Richard B. "Typhoid Fever". Capítulo 61 en: Hoeprich Paul D., editor, 'Infectious Diseases', 2da. edición, Harper & Row, Hagerstown, Md. Págs. 562-571. 1977.
- Hornick, Richard B. y Gregg, Michael B. "Typhoid Fever" Capítulo 1 en: Tice's Practice of Medicine, Vol. III. Harper & Row, Hagerstown, Md. 13 págs. 1075.
- Johnson, George A. "The Typhoid Toll" (Mortalidad por tifoidea). *Journal of the American Water Works Association*. 3(2): 249-313. 1916.
- Kawata, Kazuyoshi. "Of Typhoid Fever and Telephone Poles: Deceptive Data on the Effect of Water Supply and Privies on Health in Tropical Countries" (Sobre la fiebre tifoidea y los postes telefónicos: Datos engañosos sobre el efecto del abastecimiento de agua y las letrinas en la salud en los países tropicales). *Progress in Water Technology*. 11(1/2): 37-43. 1978.
- Mandal, Bibha K. "Typhoid and Paratyphoid Fever". *Clinics in Gastroenterology*. 8(3): 715-735. 1979.
- Mills, Hiram F. "Typhoid Fever in its Relation to Water Supplies" (Fiebre tifoidea en relación con los abastecimientos de agua). 22nd Annual Report, Massachusetts State Board of Health, Boston. Págs. 523-543. 1890. Resumido en: Whipple, George Chandler. 'State Sanitation'. Harvard University Press, Cambridge. Págs. 131-138. 1917.
- Misra, K.K. "Safe Water in Rural Areas, An Experiment in Promoting Community Participation in India" (Agua confiable en áreas rurales, un experimento para fomentar la participación comunal en la India). *International Journal of Health Education*. 18(1): 53-59. 1971.
- Moore, B. "Typhoid: Epidemiological Investigation and Control Measures" (Tifoidea: Investigación epidemiológica y medidas de control). *Public Health*, London. 85: 152-158. 1971.
- Nadkarni, M.G. y Joshi, B.N. "An Outbreak of Enteric Fever in Village Kautholi of Sangli District" (Un brote de

- fiebre entérica en la aldea Kautholi del distrito de Sangli). *Indian Journal of Medical Sciences*. 21: 597-602. 1967.
- Pfeiffer, Kenneth R. "The Homestead Typhoid Outbreak" (Epidemia de tifoidea en granjas). *Journal American Water Works Association*. 65: 803-805. 1973.
- Rice, Peter A., Baine William B. y Gangarosa Eugene J. "Salmonella typhi Infections in the United States, 1967-1972: Increasing Importance of International Travelers" (Infecciones de Salmonella typhi en los Estados Unidos, 1967-1972: Creciente importancia de los viajeros internacionales). *American Journal of Epidemiology*. 106(2): 160-166. 1977.
- Saslaw, Milton S., Nitzkin, Joel L., Feldman, Ronald, Baine, William, Pfeiffer, Kenneth y Pearson, Margaret. "Typhoid Fever". *American Journal of Public Health*. 65(11): 1184-1191. 1975.
- Savage, William. "Paratyphoid Fever: An Epidemiological Study" (Fiebre paratifoidea: Un estudio epidemiológico). *Journal of Hygiene (Cambridge)*. 42: 393-410. 1942.
- Sedgewick, William T. "On Recent Epidemics of Typhoid Fever in the Cities of Lowell and Lawrence Due to Infected Water Supply" (Sobre epidemias recientes en las ciudades de Lowell y Lawrence debido a abastecimientos de agua infectados). 24th Annual Report, Massachusetts State Board of Health, Boston. Págs. 665-704. 1892. Reeditado en 'Clean Water and the Health of th Cities'. Arno Press, Nueva York. 1977.
- Sedgewick, William T. "On the Rise and Progress of Water-Supply Sanitation in the Nineteenth Century" (Sobre el aumento y el progreso en el saneamiento de los sistemas de abastecimiento de agua durante el siglo XIX). *New England Water Works Association*. 15: 315-337. 1901.
- Whipple, George Chandler. 'Typhoid Fever—Its Causation, Transmission and Prevention' (Fiebre tifoidea: Sus causas, su transmisión y su prevención). John Wiley & Sons Inc., Nueva York, 407 págs. 1908.
- Wilson, Graham S. y Miles, Ashley. "Enteric Infections". En '(Topley and Wilson's) Principles of Bacteriology, Virology and Immunity', Vol. 2. 6ta. edición, Williams and Wilkins Co., Baltimore. Págs. 2005-2039. 1975.
- Wolman, Abel y Groman, Arthur E. "The Significance of Waterborne Typhoid Fever Outbreak, 1920-1930" (El significado de los brotes de fiebre tifoidea transmitidos por agua, 1920-1930). *Journal American Water Works Association*. 23(2): 160-201. 1931.
- Zaheer, Mohd, Prasad, B.G., Govil, K.K. y Bhadury, T. "A Note on Urban Water Supply in Uttar Pradesh" (Un informe sobre el sistema urbano de abastecimiento de agua en Uttar Pradesh). *Journal Indian Medical Association*. 38(4): 177-182. 1962.
- Zubec, M., Bujevic y Cvjetanovic, B. "Mraclin, 50 Years of Rural Drinking Water and Sanitation Programme in Croatia" (Mraclin, 50 años de un programa rural de agua potable y saneamiento en Croacia). Anexo 2 (22 págs) en: Cvjetanovic, Branko, 'Effect of Water Supply and Sanitation on Health in Less Developed Countries', informe inédito. Zagreb. 42 págs. + Anexos. Junio 1980.

SALMONELOSIS

Introducción

La salmonelosis es una enfermedad aguda, infecciosa, de origen bacteriano que presenta accesos repentinos de dolor abdominal, diarreas, náusea, fiebre y algunas veces vómitos. El índice de mortalidad es reducido, excepto entre los muy jóvenes, los ancianos y las personas debilitadas. Más de 2,000 serotipos de Salmonella son patógenos, siendo el más común el *S. typhimurium*. La fiebre tifoidea y paratifoidea son tipos de salmonelosis, pero se discuten en una sección aparte. La salmonelosis está muy asociada con los animales, al igual que con el hombre.

Transmisión

La transmisión es fecal-oral de persona a persona y vía agua o alimentos contaminados. Las epidemias generalmente se originan por los alimentos o la leche. En algunas epidemias de gran magnitud ha intervenido la contaminación fecal de abastecimientos públicos de agua clorada. En todo el mundo se pueden encontrar los diferentes tipos de salmonella.

Uno de los más notables brotes de salmonelosis transmitida por agua fue el de Riverside, California, en 1965 (Ross, Campbell y Ongerth, 1966; Greenberg y Ongerth, 1966) que afectó a un estimado de 18,000 personas. Esta epidemia se atribuyó al *S. typhimurium*.

Bibliografía sobre salmonella

- Feldman, Roger A. y Pollard, Robert A. "Uses of Epidemiology in the Control of Salmonellosis in Humans" (Usos de la epidemiología en el control de la salmonelosis en humanos). *Actas del Symposium sobre Salmonella de la US Health Assoc.* 9 págs. + 6 cuadros y 2 figuras.
- Greenberg, Arnold E. y Ongerth, Henry J. "Salmonellosis in Riverside, Calif." *Journal American Water Works Association*. 58: 1145-1150. 1966.
- Hook, Edward W. y Guerrant, Richard L. "Salmonella Infections". Cap. 140 en: Thorn, George W. y otros, editores, 'Harrison's Principles of Internal Medicine', 8va. edición, McGraw-Hill Book Co., Nueva York, Págs. 839-847. 1977.
- Koplan, J.P., Deen, R. Doug, Swanston, W.H. y Tota, B. "Contaminated Roof-collected Rainwater as Possible Cause of an Outbreak of Salmonellosis" (La contami-



Figura 2-3 Distribución geográfica de la filariasis. (Fuente: Muller, R., 1971.)

- nación del agua de lluvia recolectada en el techo como posible causa de un brote de salmonelosis). *Journal Hygiene* (Cambridge). 81(2): 303-309. 1978.
- Overturf, Gary D. y Mathies, Allen W., Jr. "Salmonellosis". Cap. 59 en: Top, Franklin H. y Wehrle, Paul F., editores, 'Communicable and Infectious Diseases', 8va edición, C.V. Mosby Company, Saint Louis, Págs. 598-611. 1976.
- Prost, E y Riemann, H. "Food-Borne Salmonellosis" (Salmonellosis transmitida por alimentos). *Annual Review Microbiology*. 21: 495-528. 1967.
- Ross, Everett C., Campbell, Kirham W. y Ongerth, Henry J. "Salmonella typhimurium Contamination of Riverside, Calif., Water Supply" (Contaminación por *S. typhimurium* del sistema de abastecimiento de agua de Riverside, Calif.). *Journal American Water Works Association*. 58: 165-174. 1966.
- Ryder, Robert W., Merson, Michael H., Pollard, Robert A., Jr. y Gangarosa Eugene J. "Salmonellosis in the United States: 1968-1974". *The Journal of Infectious Diseases*. 133(4): 483-486. 1976.
- Yaziz, M.I. y Lloyd, B.J. "The Removal of Salmonellas in Conventional Sewage Treatment Processes" (La eliminación de salmonelas en los procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales). *Journal of Bacteriology*. 46(1): 131-142. 1979.

FILARIASIS

Antecedentes

La filaria (*Dracunculus medinensis*) es una lombriz parásita filiforme que mide de 30 a 120 centímetros (12 a 48 pulgadas) de largo y que habita en los tejidos subcutáneos e intramusculares cerca a la piel de su huésped humano. Se ha detectado su

presencia en el África, el Asia y el Medio Oriente (véase figura 2-3). Si bien no es una enfermedad mortal, excepto cuando aparece el tétano como secuela, sí puede incapacitar severamente al enfermo. No son raras las complicaciones artríticas. Kale (1977) señala que la duración promedio de la incapacidad de realizar trabajo efectivo es de 100 días en la región occidental de Nigeria. La reinfección anual es común.

La filariasis es el ejemplo por excelencia de una enfermedad cuya transmisión puede interrumpirse completamente mediante la provisión de un abastecimiento de agua potable confiable. En este aspecto, se ha promovido la erradicación de esta enfermedad como parte del Decenio Internacional del Abastecimiento de Agua Potable y del Saneamiento por los Centros para el Control de Enfermedades del Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos (1981a, 1981b), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (1981) y la Organization Centrale Contre les Grand Endemies (OCCGE, 1980) (África Occidental). Se estima que de 10 a 48 millones de personas son afectadas por esta enfermedad cada año.

Transmisión

El ciclo de vida del parásito, *D. medinensis*, mostrado en la figura 2-4, es la razón por la cual su transmisión se puede detener tan rápidamente mediante un abastecimiento de agua potable confiable. Dicha enfermedad cesaría si se pudiera proteger el agua contra la contaminación que se produce a

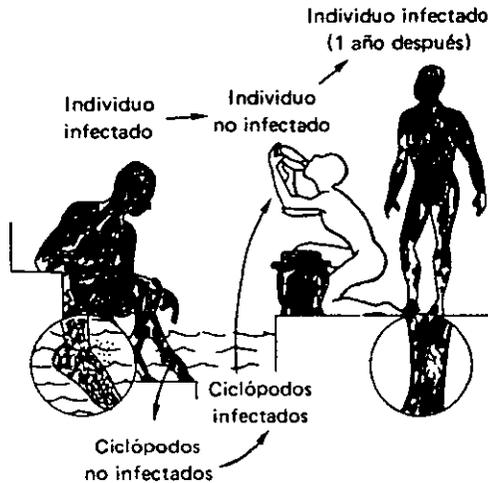


Figura 2-4 Ciclo de vida de la medinensis dracuncula.

través de la larva proveniente de una filaria alojada en una persona enferma. Bastaría sellar los pozos cavados y escalonados con coberturas sanitarias e instalar bombas de mano, para que se detenga la transmisión a través de estos pozos. Las filarias y sus huéspedes intermedios, los ciclopodos, se eliminan fácilmente del agua potable mediante la filtración. De igual manera, la ebullición y la cloración del agua los destruyen rápidamente.

Efectividad de los sistemas de abastecimiento de agua

Existen numerosos ejemplos que muestran la efectividad de los sistemas de abastecimiento de agua contra la filariasis. La filariasis endémica se eliminó en Tashkent y Samarkand mediante el rellenado de los pozos escalonados y el suministro de pozos protegidos. La construcción de un sistema de agua entubada para un pueblo de 30,000 habitantes en Nigeria redujo en dos años la incidencia de la filariasis de más del 60% a cero.

Anualmente se producen en el mundo un estimado de 10 a 48 millones de casos de filariasis.

La filariasis se distribuye esporádicamente en áreas rurales pobres de África, el Medio Oriente y Asia.

- La lombriz hembra adulta penetra en la piel de la parte baja de la pierna produciendo una úlcera.
- Cuando la úlcera entra en contacto con el agua, las larvas se descargan en ésta.

- Las larvas infectan al ciclopedo, un pequeño crustáceo.
- El agua, contaminada con los ciclopodos infectados, es consumida.
- Las larvas ingeridas maduran en los humanos en un año.
- La filariasis se transmite únicamente mediante el agua ingerida.
- El agua contaminada proviene generalmente de fuentes superficiales abiertas como lagunas estancadas o "pozos escalonados".

Bibliografía sobre filariasis (dracunculiasis)

- Anon. "War on Guinea Worm" (Guerra a la filariasis). *Africa*. 99-101. Noviembre 1981.
- Ansari, A.R. y Nasir, A.S. "A Survey on Guinea Worm Disease in the Sind Desert (Tharparkar District) of West Pakistan" (Un estudio sobre la filariasis en el desierto del Sind (distrito de Tharparkar) en la región occidental de Pakistán). *Pakistan Journal Health*. 13: 152-167. 1963.
- Belcher, Donald W., Wurapa, Frederick K., Ward, William B. y Lourie, Irvin M. "Guinea Worm in Southern Ghana: Its Epidemiology and Impact on Agricultural Productivity" (Filariasis en el sur de Ghana: Su epidemiología y su impacto sobre la productividad agrícola). *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 24(2): 243-249. 1975.
- Benenson, Abram S., editor. 'Control of Communicable Diseases in Man' (Control de enfermedades contagiosas del hombre). American Public Health Association, Washington. 435 págs. 1980.
- Bourne Peter G. "Global Eradication of Guinea Worm" (Erradicación mundial de la filariasis) (Editorial). *Journal Royal Society of Medicine*. 75: 1-6. 1982.
- Centros para Control de Enfermedades. "Guinea Worm (Dracunculiasis)", Atlanta. 22 págs. Enero. 1981a.
- Centros para Control de Enfermedades. "Guinea Worm (Dracunculiasis) and the International Water Supply and Sanitation Decade" (Filariasis y el Decenio Internacional del Abastecimiento de Agua Potable y del Saneamiento). *Morbidity and Mortality Weekly Report*. 30(26): 327. 1981b.
- Centros para Control de Enfermedades. "Program to Eradicate Dracunculiasis-India" (Programa para erradicar la dracunculiasis —India). *Morbidity and Mortality Weekly Report*. 30(44): 549. 1981c.
- Faust, Ernest Carroll, Russell, Paul Farr y Jung, Rodney Clifton. 'Clinical Parasitology', 8va. edición. Lea & Febiger, Filadelfia. 479 págs. 1975.
- Faust, Ernest Carroll, Beaver, Paul Chester y Jung, Rodney Clifton. 'Animal Agents and Vectors of Human Disease' (Agentes y vectores animales de enfermedades del hombre). 4ta. edición. Lea & Febiger, Filadelfia, 890 págs. 1970.
- Gilles, H.M. y Ball, P.A.J. "Guinea-worm Infection and Gastric Function" (Infección por filaria y funcionamiento gástrico). *Annals Tropical Medicine and Parasitology*. 58: 72-78. 1964.

- Henderson, D.A. "Discussion" (de Yekutieli, 1981). *World Health Foru.* 2(4): 482-484. 1981.
- Johnson, M.F. "Guinea-worm Arthritis on Knee Joint" (Artritis en la rodilla debido a filariasis) (Corr.) *British Medical Journal.* I: 314. 1968.
- Johnson, Silvester y Joshi, Vinod. "Dracontiasis in Rajasthan. VI. Epidemiology of Dracontiasis in Barmer District Western Rajasthan, India". *International Journal of Epidemiology.* 11 (1): 26-30. 1982.
- Kale, Oladale O. "The Clinico-Epidemiological Profile of Guinea Worm in the Ibadan District of Nigeria" (Perfil clínico-epidemiológico de la filariasis en el distrito Ibadan de Nigeria). *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene.* 26(2): 208-214. 1977.
- Lindberg, K. "Enquete Epidemiologique sur la Dracunculose dans on Village de Deccan (Inde)". *Bulletin Societe Pathologie Exotique.* 39: 318-328. 1946.
- Lyons, G.R.L. "Guineaworm Infection in the Wa District of North-Western Ghana" (Filariasis en el distrito Wa del noroeste de Ghana). *Bulletin World Health Organization.* 47: 601-610. 1972.
- Muller, Ralph. "Dracunculus and Dracunculiasis". *Advances in Parasitology.* 9: 73-151. 1971.
- Muller, Ralph. "Guinea Worm Disease: Epidemiology, Control and treatment" (Filariasis: Epidemiología, control y tratamiento). *Bulletin World Health Organization.* 57: 683-689. 1979.
- Nnochiri, Enginnaya. 'Parasitic Disease and Urbanization in a Developing Community' (Enfermedades parasitarias y urbanización en una comunidad en vías de desarrollo). Oxford University Press, Londres. 204 págs. 1968.
- Onabamiro, S.D. "The Transmission of *Dracunculus medinensis* by *Thermocyclops nigerianus* as Observed in a Village in Southwest Nigeria" (La transmisión de *Dracunculus medinensis* por medio de *Thermocyclops nigerianus* según observaciones en un caserío del suroeste de Nigeria). *Annals Tropical Medicine and Parasitology.* 45: 1-10. 1951.
- Organización Mundial de la Salud. "Dracunculiasis Surveillance" (Supervigilancia de la dracunculiasis). *Weekly Epidemiological Record.* 57(9): 65-67. 1982.
- Patnaik, K.C. y Kapoor, P.N. "Incidence of Guinea-worm in India". *Indian Journal of Medical Research.* 55: 1231-1242. 1967.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 'Prevention of Guinea Worm Disease Adopted as Major Target for Decade' (Prevención de la filariasis adoptada como un objetivo principal del Decenio). Nueva York, 6 págs. Mayo 1981.
- Rao, C.K. y Reddy, G.V.M. "Dracontiasis in West Godovari and Kurnool Districts, Andhra Pradesh". *Bulletin India Society Malaria and Communicable Diseases.* 2: 275-293. 1965.
- Rao, C.K. y otros. "Guinea Worm Disease in India —Current Status and Strategy of Its Eradication" (La filariasis en la India —Estado actual y la estrategia para su erradicación). *Journal Communicable Diseases.* 13(1): 1-7. 1981.
- Reddy, C.R.R.M., Narasaiah, I.L. y Parvathi, G. "Epidemiological Studies on Guinea-worm Infections" (Estudios epidemiológicos sobre filariasis). *Bulletin World Health Organization;* 40: 521-529. 1969.
- Roy, G.C. y Saha, A.L. "Persistent Guineaworm Infection in a Village in West Bengal" (Filariasis persistente en un caserío del oeste de Bengala). *Indian Journal Public Health.* 16(1): 7-10. 1972.
- Sahba, G.H., Arfaa, F. Fardin, A. y Ardian, A. "Studies on Dracontiasis in Iran". *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene.* 22(3): 343-347. 1973.
- Scott, D. "An Epidemiological Note on Guinea Worm Infection in North-West Ashanti, Ghana" (Un informe epidemiológico sobre la filariasis en Ashanti, al noroeste de Ghana). *Annals Tropical Medicine and Parasitology.* 54: 32-43. 1960.
- Sharma, M.I.D. "Lessons Learnt from the Intensified Campaign Against Smallpox in India and Their Possible Applicability to Other Health Programmes with Particular Reference to Eradication of Dracunculiasis" (Lecciones aprendidas en la campaña intensificada contra la viruela en la India y su posible aplicabilidad a otros programas de salud, con mención especial a la erradicación de la dracunculiasis). *Journal Communicable Diseases.* 12(2): 59-64. 1980.
- Ward, W.B., Blecher, D.W., Wurapa, F.K. y Pappoe, M.E. "Perception and Management of Guinea Worm Disease Among Ghanaian Villagers" (Percepción y manejo de la filariasis entre aldeanos de Ghana). *Tropical and Geographical Medicine.* 31: 155-164. 1979.
- White, Gilbert F., Bradley, David J. y White, Anne U. 'Dra- wers of Water, Domestic Water Use in East Africa' (Aca- rreadores de agua, usos domésticos del agua en el África occidental). University of Chicago Press, Chicago. 306 págs. 1972.
- Wilcocks, Charles y Manson-Bahr, P.E.C. 'Manson's Tropical Diseases' (Enfermedades tropicales de Manson). Williams and Wilkins Co., Baltimore. 1164 págs. 1972.
- Yekutieli, Pérez. "Lessons from the Big Eradication Campaigns" (Lecciones de las Grandes Campañas de Erradica- ción). *World Health Forum.* 2(4): 465-481. 1981.

LEPTOSPIROSIS

Introducción

Como leptospirosis se conoce a un grupo de enfermedades causadas por varios serovars (antes serotipos) de *Leptospiras*, por ejemplo, el *L. icterohaemorrhagiae*. Los síntomas incluyen fiebre, dolor de cabeza, escalofríos, malestar severo, vómitos, mialgia y otros. Los casos fatales son pocos, a excepción de los casos que presentan ictericia o lesiones al riñón.

Los patógenos se transmiten a través del contacto de la piel con agua, suelo o vegetación contaminados con la orina de ratas infectadas u otros huéspedes o, en algunos casos, a través de la ingestión.

La exposición está estrechamente vinculada al tipo de ocupación, siendo los más expuestos los agricultores, los pescadores y otras personas que tienen contacto frecuente con aguas contaminadas o con animales infectados y su orina. La exposición por motivos recreacionales también es importante, por ejemplo, en el caso de quienes nadan en aguas contaminadas.

El rol del abastecimiento de agua

“La leptospirosis en el hombre se asocia con tanta frecuencia al agua que a menudo se la ha clasificado como una zoonosis transmitida a través del agua” (Crawford y otros, 1971). El primer informe sobre epidemia de leptospirosis transmitida a través del agua en los Estados Unidos se dio en 1939 (Havens y otros, 1941). Crawford y otros (1971) estudiaron otras 2 epidemias en los Estados Unidos, todas ellas atribuibles a la práctica de la natación en aguas contaminadas. En la mayoría de las epidemias, las fuentes probables de leptospiros fueron las reses o los puercos.

Chistie (1974) sugiere que “en la gran mayoría de los casos, la leptospirosis en el hombre se origina del agua o del suelo contaminados por ratas”. También señala que los trabajadores del alcantarillado han contraído la enfermedad e informa sobre la transmisión de la misma mediante el agua ingerida.

Sin embargo, Gilliespie (1963) y Diesh (1956) enfatizan el peligro que representa el *L. pomona* procedente del ganado vacuno doméstico.

Bibliografía sobre leptospirosis

- Broom, J.C. “Leptospirosis in Tropical Countries” (Leptospirosis en países tropicales). *Transactions of The Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. 47(4): 273-286. 1953.
- Christie, A.B. “Leptospiral Infections” Cap. 23 en: ‘Infectious Diseases: Epidemiological and Clinical Practice’, 2da. edición. Churchill Livingstone, Edinburgh. Págs. 907-933. 1974.
- Crawford, Richard P., Heinemann, Jack M., McCulloch, William F. y Diesh, Stanley L. “Human Infections Associated with Waterborne Leptospire, and Survival Studies on Serotype *pomona*”. (Infecciones humanas asociadas a leptospiros transportados por agua y estudios de supervivencia del serotipo *pomona*). *Journal American Veterinary Medical Association*. 159(11): 1477-1484.
- Diesh, Stanley L. y McCulloch, William F. “Isolation of Pathogenic Leptospire From Waters Used for Recreation” (Aislamiento de leptospiros patógenos en aguas usadas con fines recreativos). *Public Health Reports*. 81(4): 299-304. 1956.
- Ellinghausen, Herman C., Jr. y Top, Franklin H. “Leptospirosis” Cap. 40 en: Top, Franklin H. y Wehrle, Paul F., editores, ‘Communicable and Infectious Diseases’, C. V. Mosby Company, Saint Louis. Págs. 395-409. 1976.
- Galton, Mildred M. “Leptospirosis: Epidemiology, Clinical Manifestations in Man and Animals and Methods in Laboratory Diagnosis” (Leptospirosis: Epidemiología, manifestaciones clínicas en hombres y animales y métodos para el diagnóstico en laboratorio). U.S. Public Health Service Publication No. 951. 70 págs. 1962.
- Gillespie, R.W.H. y Ryno, Joanne. “Epidemiology of Leptospirosis”. *American Journal of Public Health*. 53(6): 950-955. 1963.
- Havens, W. Paul, Bucher, Carl J. y Reimann, Hobart A. “Leptospirosis: A Public Health Hazard” (Leptospirosis: Un peligro para la salud pública). *Journal American Medical Association*. 116(4): 289-291. 1941.
- Martone, William J. y Kaufmann, Arnold F. “Leptospirosis in Humans in the United States, 1974-1978” (Leptospirosis en humanos en los Estados Unidos). *Journal of Infectious Diseases*. 140(6): 1020-1022. 1979.
- Sanford, Jay P. “Leptospirosis”. Cap. 166 en: Thorn, George W. y otros, editores, ‘Harrison’s Principles of Internal Medicine’, 8va. edición, McGraw-Hill Book Co., Nueva York. Págs. 931-934. 1977.
- Torten, M. “Leptospirosis”. En: Steele, James H., ‘CRC Handbook Series in Zoonoses’, Vol. 1, CRC Press, Inc., Boca Ratón, Fla. Págs. 363-421. 1979.

TULAREMIA

Introducción

“La tularemia es un conglomerado de síndromes” (Hornick, 1975) relacionados con la ruta de introducción y con la virulencia del patógeno, *Francisella tularensis*, un cocobacilo zoonótico. Cuando éste se transmite a través de la ingestión, puede producir faringitis, dolor intestinal, diarreas y vómitos. La puerta de entrada más frecuente es la piel y la forma más común de manifestarse es como una enfermedad febril indolora que presenta ulceraciones en la piel y nodos linfáticos drenantes. Puede presentar también neumonía, tifoidea y formas oculoglandulares.

La transmisión de una persona a otras es rara, siendo más común la transmisión a través del manipuleo de animales muertos o mediante la ingestión de carne no bien cocida de animales enfermos. Los conejos son las víctimas más comunes entre los animales.

El rol del agua

Se han presentado episodios esporádicos y epidémicos de tularemia en el hombre cuando éste establece contacto con aguas y peces contaminados por esqueletos de animales enfermos (Cluff, 1977). Quan, McManus y von Fintel (1956) han demostrado que la *F. tularensis* en el agua puede penetrar en la piel aunque ella esté intacta.

En la URSS, un abastecimiento doméstico de agua contaminado por *F. tularensis* originó "más de 43 casos" en un grupo de trabajadores agrícolas (Jellison y otros, 1950). En los Estados Unidos se han encontrado con frecuencia aguas naturales contaminadas por castores y ratas almizcleras (Parker y otros, 1951). Debería evitarse la extracción directa de agua para beber de corrientes en áreas donde se sepa que existe dicha enfermedad.

Bibliografía sobre tularemia

- Cluff, Leighton E. "Tularemia". Cap. 145 en: Thorn, George W. y otros, editores, 'Harrison's Principles of Internal Medicine', 8va. edición, McGraw-Hill Book Co., Nueva York. Págs. 858-860. 1977.
- Hornick, Richard B. "Tularemia". Cap. 133 en: Hoeprich, Paul D., editor, 'Infectious Diseases', 2da. edición, Harper and Row Publishers, Hagerstown, M.D. Págs. 1043-1049. 1977.
- Jellison, V.L., Epler, Deane C., Kuhns, Edith y Kohls, Glen M. "Tularemia in Man from a Domestic Rural Water Supply" (Tularemia en el hombre transmitida por un sistema rural de abastecimiento de agua). *Public Health Reports*. 65: 1219-1226. 1950.
- Karpoff, S.P. y Antonoff, N.I. "The Spread of Tularemia Through Water as a New Factor in Its Epidemiology" (La difusión de la tularemia a través del agua como un nuevo factor de su epidemiología). *Journal Bacteriology*. 32: 243-258. 1936.
- Parker, R.R., Steinhaus, Edward A., Kohls, Glen M. y Jellison, William L. "Contamination of Natural Waters and Mud with *Pasteurella tularensis* and Tularemia in Beavers and Muskrats in the Northeastern United States" (Contaminación de aguas Naturales y lodo con la *Pasteurella tularensis* y tularemia en castores y ratas almizcleras en la región noroeste de los Estados Unidos). *National Institutes of Health Bulletin*. N. 193. Págs. 1-61. 1951.
- Poland, Jack D. "Tularemia". Cap. 71 en: Top, Franklin H. y Wehrle, Paul F., editores, 'Communicable and Infectious Diseases', 8va. edición, C.V. Mosby Company, Saint Louis. Págs. 754-759. 1976.
- Quans, S.F., McManus, A.G. y von Fintel, H. "Infectivity of Tularemia Applied to Intact Skin and Ingested in Drinking Water" (Infectabilidad de la tularemia aplicada sobre la piel intacta e ingerida en agua). *Science*. 123: 942-943. 1956.

Sanders, Charles V. "Tularemia". Cap. 23 en: 'Tice's Practice of Medicine' Vol. III, Harper & Row, Publisher, Hagerstown, Md. 15 págs. 1970.

ENFERMEDADES CARDIOVASCULARES Y DUREZA DEL AGUA POTABLE

Se ha detectado que existe relación entre la dureza del agua potable local y los índices de mortalidad por enfermedades cardiovasculares. La mayor parte de estos estudios se han limitado a unidades geográficas donde los índices de mortalidad tienen relación con las concentraciones promedio de los diversos constituyentes del agua potable. Sin embargo, no se ha demostrado la plausibilidad biológica de estas asociaciones geográficas. En efecto, diversos autores se preguntan si los constituyentes del agua potable representan un porcentaje suficientemente significativo de la ingestión humana diaria como para afectar el metabolismo o la salud del hombre. Más aún, no han surgido patrones claros de los estudios. Sharret (1979) concluye tras una extensa revisión que "en la actualidad debe darse poco crédito a los descubrimientos sobre relaciones entre elementos traza transportados por el agua y la mortalidad". En otro estudio extenso, Comstock (1979) señaló que "cuanto más riguroso es el diseño experimental menor es la asociación". Además, "su efecto, si existe alguno, debe ser muy débil en comparación con los efectos de los factores de riesgo conocidos".

Un reciente estudio sobre este asunto realizado por la Academia Nacional de Ciencias (1979) concluyó que: "Dado el nivel actual de conocimiento que se tiene sobre la relación existente entre la dureza del agua y la incidencia de enfermedades cardiovasculares, no es adecuado recomendar en este momento una política nacional para modificar la dureza o blandura del agua entregada a través de sistemas públicos de abastecimiento".

Bibliografía sobre enfermedades cardiovasculares y dureza del agua

- Comstock, George W. "Water Hardness and Cardiovascular Disease" (Dureza del agua y enfermedades cardiovasculares). *American Journal of Epidemiology*. 110(4); 375-400. 1979.
- National Academy of Sciences. 'Geochemistry of Water in Relation to Cardiovascular Disease' (Geoquímica del agua en relación con enfermedades cardiovasculares). 98 págs. 1979.

National Academy of Sciences. 'Drinking Water and Health' (Agua potable y salud), Vol. 3. Págs. 1-24. 1980.

Sharrett, A. Richey. "The Role of Chemical Constituents of Drinking Water in Cardiovascular Diseases" (El rol de los constituyentes químicos del agua potable en las enfermedades cardiovasculares). *American Journal of Epidemiology*. 110(4): 401-419. 1979.

CANCERÍGENOS EN EL AGUA POTABLE

El incremento del número de productos químicos orgánicos que llegan a los abastecimientos de agua en las zonas industrializadas ha generado una creciente preocupación en cuanto a su potencial cancerígeno en el agua potable. Se han encontrado ciertos compuestos que se sabe son cancerígenos (mediante pruebas realizadas con animales expuestos a altas dosis) en sistemas de abastecimiento de agua, si bien en bajas concentraciones. Uno de éstos es el cloroformo, que puede ser un subproducto del proceso de cloración para la desinfección del agua, proceso que se practica en los Estados Unidos desde 1908 y que indudablemente ha evitado un gran número de muertes.

El problema del efecto de los cancerígenos potenciales encontrados en el agua potable ha sido estudiado intensamente por la Academia Nacional de Ciencias (NAS), la cual recientemente publicó un informe sobre el cloroformo y otros trihalometanos (THM) en el agua potable. La NAS ha concluido, en base a su revisión de 12 estudios epidemiológicos, que cualquier asociación entre los THM y el cáncer a la vejiga "era reducida y tenía un amplio margen de error" y que las complejidades me-

todológicas inherentes a dichos estudios hacía "virtualmente imposible establecer una vinculación causal entre los THM y un incremento en el cáncer a la vejiga o a cualquier otro órgano".

Este tema también ha sido recientemente revisado por Wilkins, Reiches y Kruse (1979), quienes llegaron a la conclusión que "la asociación entre los contaminantes químicos orgánicos del agua potable y el cáncer no está totalmente confirmada" y que "actualmente, la evidencia de unos cuantos resultados estadísticamente significativos debe ser contrapesada con el reconocimiento de que existe un gran número de pruebas estadísticas realizadas y con la evaluación de los niveles de significación que ellas han dado como resultado". Sin embargo, "aun cuando con estos esfuerzos exploratorios no se ha logrado hacer evidente una relación fuerte entre agua potable y cáncer, todavía parece existir una justificación para continuar la investigación sobre el agua potable".

Bibliografía sobre cancerígenos en el agua potable

- National Academy of Sciences. 'Drinking Water and Health' (Agua potable y salud). Vol. 3. Págs. 1-22. Washington. 1980.
- Schneiderman, Marvin A. "Water and Epidemiology" (Agua y epidemiología). En: Russell, Clifford S., editor, 'Safe Drinking Water: Current and Future Problems', Resources for the Future, Washington. Págs. 111-148. 1978.
- Wilkins, John R., III, Reiches, Nancy A. y Kruse, Cornelius W. "Organic Chemical Constituents in Drinking Water and Cancer" (Constituyentes químicos orgánicos del agua potable y el cáncer). *American Journal of Epidemiology*. 110(4): 420-448. 1979.

SECCIÓN 3

Enfermedades relacionadas con la higiene y el agua

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades relacionadas con la higiene y el agua son aquellas cuya incidencia, prevalencia o gravedad pueden reducirse usando regularmente agua en cantidad suficiente para mejorar la higiene doméstica. Estas comprenden a la mayor parte de las enfermedades transmitidas a través del agua. Muchas de estas enfermedades pueden transmitirse también a través de alimentos, contacto mano-boca y otros medios. Algunas de ellas, por ejemplo la shigelosis, se transmiten probablemente con mayor frecuencia a través de dichos medios que a través del agua ingerida.¹

Otras enfermedades relacionadas con la higiene incluyen a las de la piel (por ejemplo: frambesia) y a las de los ojos (por ejemplo: tracoma). Algunas de las enfermedades de la piel se asocian al ectoparasitismo, es decir, a la infestación de insectos. La sarna, por ejemplo, la originan los aradores de la sarna; la pediculosis, los piojos. Estos últimos también pueden transmitir otras enfermedades como el tifus.

Se debe contar con una cantidad de agua suficiente para lavarse las manos, bañarse, lavar la ropa y limpiar los utensilios de cocina, cubiertos y vajilla. Esta cantidad debe ser adicional a la que se destina a la ingestión. Véase la figura 3-1, donde se muestra el impacto del lavado de las manos en la

propagación de la shigella en Dacca, Bangladesh (ICDDR, 1979).

Algunas veces se presenta el argumento falaz de que lo importante es la cantidad y no la calidad del agua. Con frecuencia, económicamente sólo es factible contar con un sistema de abastecimiento de agua, el cual debe suministrar agua tanto para beber como para utilizar en la higiene. Con una selección juiciosa y una protección adecuada de las fuentes, eligiendo particularmente fuentes de agua subterránea, frecuentemente se puede obtener agua confiable microbiológicamente que satisfaga ambos propósitos, cosa que no pueden garantizar ni siquiera grandes cantidades de agua no confiable. Las empresas públicas deberían evitar el riesgo de brotes epidémicos de fuente común en los sistemas públicos entubados de abastecimiento de agua, aun cuando la transmisión a través del agua no parezca ser endémica. En la mayoría de los casos, la diferencia en cuanto a costos es insignificante.

Bibliografía sobre enfermedades relacionadas con la higiene y el agua

International Center for Diarrhoeal Disease Research. '1979 Annual Report'. International Centre for Diarrhoeal Disease Research, Dacca. 1980.

¹ Algunas *Shigella* son muy virulentas, es decir, que son infecciosas en dosis muy pequeñas. Sin embargo, tienen un período de vida corto en aguas naturales y raramente se les identifica durante epidemias transmitidas por agua. Ellas pueden ser agentes causantes de muchas diarreas no diferenciadas.

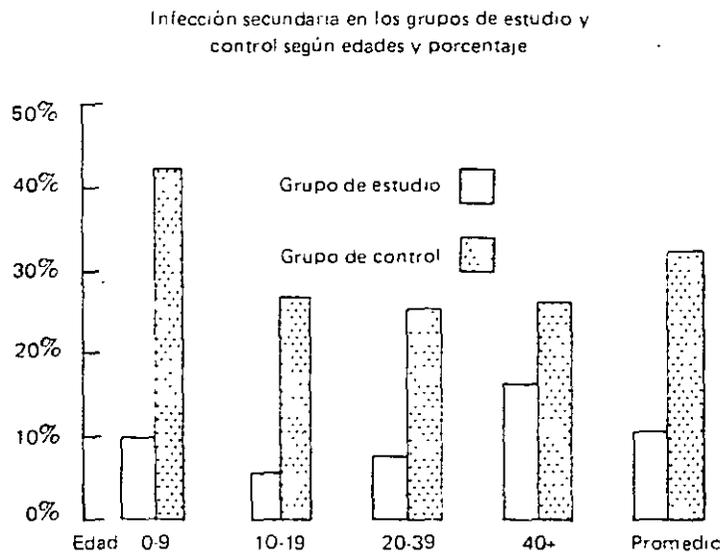
ENFERMEDADES ENTÉRICAS

En la sección 9 se demuestra en forma concluyente que los abastecimientos de agua confiables, regulares y convenientemente accesibles, con un

Cuadro 3-1 Enfermedades relacionadas con la higiene y el agua¹

Enfermedad o Síndrome	Observaciones
<i>Enfermedades Entéricas</i> Diarreas, Disenterías, Gastroenteritis, etc.	La prevalencia de la mayoría de enfermedades de vía fecal-oral es menor si se cuenta con una cantidad adecuada de agua.
<i>Enfermedades de la Piel</i> Otitis externa, Sarna, Sepsis y Ulceras de la Piel, Tiña	Son evitadas mediante la higiene personal, incluyendo baños frecuentes y el lavado de la ropa con jabón.
<i>Enfermedades Transmisi- das por Piojos</i> Fiebre ocasionada por Piojos, Pediculosis, Fiebre Recidiva, Tifus, Fiebre de Wolhynian	Se previenen mediante la higiene personal, incluyendo baños frecuentes y el lavado de la ropa con jabón.
<i>Treponematosi</i> Sífilis Endémica, Pinta, Frambesia	Se previene a través de la higiene general y la higiene personal. No venéreas.
<i>Enfermedades de los Ojos</i> Conjuntivitis, Tracoma	El tracoma es raro cuando se dispone de suficiente agua.

¹ Su transmisión se reduce mediante el uso de agua en la limpieza. Es importante la cantidad, la adecuabilidad y la confiabilidad del abastecimiento de agua.



Limitación de la shigelosis mediante el lavado de las manos

Figura 3-1 Efecto del lavado de las manos en la propagación de la *Shigella* entre familias de Dacca.

Fuente: International Centre for Diarrheal Disease Research, 1980.

suministro de por lo menos 20 litros diarios por persona (y preferiblemente de 30 a 40) reducen el nivel de las enfermedades entéricas en las comunidades que reciben el servicio. Las evidencias de campo son particularmente grandes para la shigelosis (disentería bacilar). La mayoría de las otras enfermedades de transmisión fecal-oral también reciben un impacto favorable. La Sección 2 describe estas enfermedades y brinda bibliografía sobre ellas.

ENFERMEDADES DE LA PIEL¹

Introducción

Las enfermedades de la piel representan un problema considerable en la mayoría de países en vías de desarrollo, constituyendo una de las principales razones de asistencia a un centro de salud. Los índices de prevalencia pueden ascender al 80% no siendo raras las infecciones secundarias (Clark, 1970; Jelliffe, 1972; Masawe, 1975; Morley, 1973; Porter, 1977; Vibhagool, 1970 y otros).

Sarna

La sarna es una enfermedad producida por la infestación del arador de la sarna, *Sarcoptes Scabiei*. Apenas lo suficientemente grande como para verlo a simple vista, su descubrimiento en 1687 convirtió a la sarna en la primera enfermedad del hombre cuya causa era conocida (Orkin, 1971). Esta enfermedad se encuentra en cualquier parte del mundo donde falte higiene personal. Las epidemias aparecen intermitentemente en ciclos de larga duración. El arador escarba debajo de la piel y el escozor resultante puede ser intenso. La transmisión de los parásitos se produce por contacto directo piel a piel y en un grado limitado por el contacto con prendas de vestir o ropas de cama contaminadas por personas infectadas. Frecuentemente se adquiere durante el contacto sexual.

Dermatofitosis (Tiña)

La tiña es un término general aplicado a enfermedades producidas por hongos que se alojan en áreas queratinizadas del cuerpo (cabello, piel y uñas). Estas enfermedades se subdividen de acuerdo al lugar de la infección: el cuero cabelludo, las uñas, la ingle,

la región perianal, el cuerpo y los pies. Una higiene personal estricta puede ayudar a evitar el contagio. Sin embargo, estas enfermedades se pueden encontrar en todo el mundo.

López Martínez (1980), en uno de los pocos estudios cuantitativos publicados, encontró en un estudio en Ciudad de México que se podía aislar dermatofitos del cuero cabelludo de un 14.8% de las personas que vivían en condiciones sanitarias consideradas como "sucias" y sólo de un 4.6% de aquellas que vivían en condiciones "limpias". Se encontró que la infestación entre los niños era el doble que entre los adultos.

Otras enfermedades de la piel

Muchas otras enfermedades de la piel pueden prevenirse o controlarse a través de la higiene pública y personal, asistida mediante abastecimientos de agua adecuados y convenientes. Estas enfermedades incluyen a la pediculosis (tratada en una sección aparte); las infecciones piodérmicas producidas por diferentes bacterias, pero fundamentalmente por *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes* y *Corynebacterium diphtheriae*; las úlceras microbacterianas; la úlcera tropical; el impétigo; la otitis externa (infección del oído externo); otras infecciones sépticas de la piel e infecciones secundarias y secuelas en otras partes del cuerpo, por ejemplo, nefritis glomerular aguda, septicemia y otras. Los niños son los más frecuentemente infectados.

El rol del abastecimiento de agua

El control de la mayor parte de estas enfermedades no puede llevarse a cabo si no se cuenta con un abastecimiento de agua adecuado (Clark, 1970; Jelliffe, 1972; Morley, 1973; Porter, 1977 y Vibhagool, 1970). Misra (1971) describe algunos ejemplos espectaculares de reducción en las enfermedades de la piel en la India; de igual manera, Henry (1981) informa sobre Santa Lucía, donde la sarna disminuyó en un 98% y las enfermedades de la piel en un 82%.

Bibliografía sobre enfermedades de la piel relacionadas con la higiene (incluyendo la sarna)

Adams, Robert M. "The Skin and Today's Environment" (La piel y el medio ambiente actual). Cap. 27 en: McKee, William D., editor, 'Environmental Problems In Medicine',

¹ No incluye a enfermedades sistémicas con síntomas o síndromes que aparecen en la piel, por ejemplo el sarampión.

- Charles C. Thomas, Springfield, Ill. páginas 726-773. 1974.
- Allen, Arthur C. 'The Skin, A Clinicopathological Treatise' (La piel, un tratado clínico-patológico), 2da. edición. Greene & Stratton, Nueva York, 1182 págs. 1967.
- Bradley, David J. "Measuring the Health Benefits of Investments in Water Supply" (Midiendo los beneficios en la salud de las inversiones en abastecimiento de agua). Notas inéditas. 1974.
- Clark, G. H. V. "Diseases of the Skin" (Enfermedades de la piel). Cap. 25 en: Jelliffe, D. B., editor, 'Diseases of Children in the Subtropics and Tropics', Williams & Wilkins Co., Baltimore, págs. 604-638. 1970;
- Goldstein, Elliot. "Otitis Externa". Cap. 157 en: Hoeprieh, Paul D., editor, 'Infectious Diseases', 2da. edición, Harper & Row, Publishers, Hagerstown, Md. págs. 1185-1186. 1977.
- Henry Fitzroy J. "Environmental Sanitation, Infection and Nutritional Status of Infants in Rural St. Lucia, West Indies" (Saneamiento ambiental, infecciones y estados nutricionales de los infantes en los sectores rurales de Santa Lucía, las Antillas). *Transactions Royal Society Tropical Medicine and Hygiene*. 75(4): 507-513. 1981.
- Jelliffe, D. B. "Dermatology Markers of Environmental Hygiene" (Marcadores dermatológicos de la higiene ambiental). *The Lancet* II: 49. Julio 1, 1972.
- López Martínez, Rubén. "Isolation of Dermatophytes from Different Natural Sources" (Aislamiento de dermatofitos de diferentes fuentes naturales). Superficial, Cutaneous, and Subcutaneous Infections. Scientific Publication No. 36. Organización Panamericana de la Salud, Washington. págs. 205-210. 1980.
- Masawe, Aaron E. J., Nsanzumuhire, Herbert y Mhalu, Frederick. "Bacterial Skin Infections in Preschool and School Children in Coastal Tanzania" (Infecciones bacterianas de la piel en niños de edad pre-escolar y escolar en las costas de Tanzania). *Archives Dermatology*. 111: 1313-1316. 1975.
- Misra, K. K. "Safe Water in rural Areas — An Experiment in Promoting Community Participation in India" (Agua potable en áreas rurales — Un experimento en promocionar la participación comunitaria en la India). *International Journal of Health Education*. 18: 53-59. 1971.
- Morley, David, 'Pediatric Priorities in the Developing World' (Prioridades pediátricas en el Tercer Mundo). Butterworths & Company Ltd., Londres. 470 págs. 1973.
- Orkin, Milton. "Resurgence of Scabies" (Resurgimiento de la sarna). *Journal American Medical Association*. 217 (5): 593-597. 1971.
- Porter, Michael J. "An Epidemiological Approach to Skin Disease in the Tropics" (Un enfoque metodológico de las enfermedades de la piel en los trópicos). *Tropical Doctor* 7: 59-66. 1977.
- Radcliffe, Christian E. "Scabies" (Sarna). Cap. 60 en: Top, Franklin H. y Wehrle, Paul F., editores, 'Communicable and Infectious Diseases', 8va. edición, C. V. Mosby Company, Saint Louis. págs. 612-615. 1976.
- Sonneidau, J. D., Jr. "Systemic Mycotic Infections" (Infecciones micóticas sistémicas). Cap. 28 en: Jelliffe, D. B. Editor. 'Diseases of Children in the Subtropics and Tropics', Williams & Wilkins Co., Baltimore. págs. 706-726. 1970.
- Taplin, D., Lansdell, L., Allen, A. M. "Prevalence of Streptococcal Pyoderma in Relation to Climate and Hygiene" (Prevalencia de la pioderma por estreptococo en relación con el clima y la higiene). *Lancet*. 1: 501-503. 1973.
- Vighagool, A. "Ecological Aspects of Common Dermatoses in Thailand" (Aspectos ecológicos de las dermatosis comunes en Tailandia). *International Journal Dermatology*. 9(3): 186-188. 1970.
- Williams, Roger W. "Scabies" (Sarna). Cap. 110 en: Hoeprieh, Paul D., editor, 'Infectious Diseases'. 2da. edición, Harper & Row, Publishers, Hagerstown, Md. págs. 870-873. 1977.

ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR PIOJOS

Introducción

Los piojos solamente infestan . . . a quienes viven en la más grande pobreza. Pero todavía hay muchos que viven así y existen regiones de la tierra donde la vida es aún primitiva, donde una bañera es un artículo de lujo . . . Los piojos nunca serán completamente exterminados y existirán ocasiones en las que se difundirán ampliamente hacia grandes sectores, inclusive de las poblaciones con mejor saneamiento. Mientras el piojo exista, persistirá la posibilidad de epidemias de tifus (Zinsser, 1935).

Uno de los logros indirectos de la instalación de sistemas comunitarios de abastecimiento de agua y de las prácticas de higiene personal fomentadas por ellos ha sido la virtual eliminación de los piojos del cuerpo, vectores de epidemias de tifus y de fiebres recidivas, en las comunidades modernas. Sin embargo, las observaciones de Zinsser, vertidas hace casi medio siglo, continúan teniendo vigencia en la actualidad.

El cuadro 3-2 muestra las enfermedades humanas que tienen como vector al piojo. La enfermedad más importante es el tifus epidérmico, el cual a través de la historia ha demostrado ser un importante enemigo de la especie humana. En efecto, el tifus pudo haber cambiado el curso de la historia (Cartwright, 1972; McNeill, 1976 y Zinsser, 1935). Así, por ejemplo, la leyenda afirma, al igual que la obra de Tolstoi *La Guerra y la Paz*, que el ejército de Napoleón fue destruido completamente en su retirada de Moscú. Pero la leyenda se equivoca. Más soldados perecieron en el camino hacia Moscú, atravesando Polonia y la Rusia occidental, que en la retirada (Cartwright, 1972). Las enfermedades, encabezadas

Cuadro 3-2 Enfermedades transmitidas por piojos.

Enfermedad/ Sinónimos	Índice de mortalidad	Vector ¹	Agente Infeccioso	Ocurrencia	Observaciones
² Tifus, epidemia transmitida por piojos (Tifus clásico)	10 a 40%, algunas veces 70%	Piojo de cuerpo	<i>Rickettsia prowazeki</i>	África, Asia, Europa Oriental, L. América	Epidemias mayores en ambientes hacinados insalubres bajo tensión
Enfermedad de Brill-Zinsser (Tifus recidivo)	Raro	Piojo de cuerpo	<i>Rickettsia prowazeki</i>	A nivel mundial	Reincidencia de antigua infección de tifus
³ Fiebre recidiva epidémica, transmitida por piojos	2 a 10%, algunas veces 50%	Piojo de cuerpo	<i>Borrelia recurrentis</i> (una espiroqueta)	Áreas limitadas de África, Asia, L. América	Es común la reincidencia
Fiebre de Wolhyn (Fiebre de Trinchera, de Quintana, de 5 días)	No es mortal	Piojo de cuerpo	<i>Rickettsia quintana</i>	Europa, Rusia, Etiopía, Nor África, México	Epidemia entre soldados en tiempo de guerra
Pediculosis (Enfermedad de vagabundos)	Muy rara	Piojo de cuerpo, cabeza o pubis (ladilla)	Infestación de una o más especies de piojos (No es infección)	A nivel mundial	Asociada a la falta de higiene y de lavado de la ropa y al hacinamiento
Enfermedades de la piel con infecciones secundarias (Dermatitis, eczema, forunculosis, impétigo, pio-derma y otras)	Rara	El piojo y el hombre son vectores mecánicos al picar y rascarse respectivamente	Estafilococos estreptococos y otras bacterias	A nivel mundial	Infecciones secundarias de piel infestada con piojos

¹ El piojo de cuerpo (*Pediculus humanus corporis*) y el de cabeza (*Pediculus humanus capitis*) están estrechamente relacionados; pudiendo los piojos de cabeza ser también vectores de enfermedades febriles. No así la ladilla o piojo de pubis (*Phthirus pubis*)

² También existen formas de tifus transmitidas por pulgas y aradores

³ También existe una forma de fiebre recidiva transmitida por garrapatas

por el tifus, causaron más bajas entre las tropas de Napoleón que los soldados rusos.

El tifus epidémico se presenta en la actualidad en África, Asia y América Latina, teniendo como focos principales a Etiopía, Burundi, Ruanda y los países andinos (Tarizzo, 1973). El riesgo potencial de grandes epidemias es elevado, especialmente en condiciones de gran tensión social, como guerras,

insurrecciones, hambrunas, desastres naturales y aguda pobreza.

Las condiciones "normales" para la presencia de piojos incluyen la falta de agua y jabón en el baño y en el lavado de la ropa, la muda poco frecuente de las prendas de vestir, un clima severo (frío, viento, sol, areniscas —lo que fomenta el uso de prendas de vestir), el dormir vestido, el hacinamiento (es-

pecialmente en los dormitorios), la desnutrición y a escasa información sobre el piojo y las enfermedades que transmite.

Piojos

Tres tipos de piojos infestan al hombre, denominándoseles comúnmente como piojos de cuerpo, de cabeza y de pubis. Coloquialmente también se conoce a los piojos de pubis como ladillas. Los nombres comunes se derivan de la parte del cuerpo humano que es el hábitat común de cada tipo. Los piojos de cuerpo y de cabeza son variedades de la misma especie. El primero, es el vector común de las enfermedades febriles transmitidas por piojos.

Los piojos normalmente pasan toda su vida en su huésped humano y si se les separa intentan inmediatamente volver a recuperar su lugar en el huésped original o en otro huésped humano. Si no encuentran un nuevo huésped, los piojos perecerán en horas o días (dependiendo de la temperatura del ambiente). Los piojos prefieren una fluctuación limitada de la temperatura; así, dejarán a un huésped cuya temperatura sea demasiado alta debido a la fiebre o demasiado baja debido a la muerte. La preferencia del piojo por el hombre y su aversión a temperaturas anormales (por ejemplo fiebre o escalofríos en su huésped) causan que la infestación de piojos se propague a la comunidad.

Se ha registrado una velocidad de desplazamiento de 9 pulgadas (23 cm) por minuto en los piojos adultos, pero nunca se mueven en línea recta. Los experimentos han demostrado que una persona no infestada de piojos, acostada en la misma cama con otra infestada, empezará a sufrir de los mismos en 5 ó 6 horas (Busvine, 1969).

Los piojos viven solamente de sangre. Cuando se están alimentando, la piel del huésped es atravesada por unas partes de la boca del piojo (estiletos) y una secreción salival evita la coagulación de la sangre del huésped. Cada vez que se alimenta, el piojo succiona hasta un miligramo de sangre.

Los piojos solamente se pueden contraer directa o indirectamente de una persona infectada. La probabilidad de contagio depende de la prevalencia y de las condiciones de hacinamiento.

En las condiciones de la civilización moderna, las infestaciones de piojos de cuerpo son muy raras se restringen prácticamente a las personas con niveles de higiene evidentemente bajos, que raramente se cambian de ropa interior y que duermen comúnmente con su ropa de calle. Un lavado regular de la

ropa interior hace imposible la supervivencia de piojos de cuerpos (Busvine, 1969). Los piojos de cuerpo aún tienen un alto grado de prevalencia en algunas comunidades con bajos niveles de higiene, cuyos residentes no pueden lavar su ropa ni cambiársela continuamente.

Los piojos de cabeza tienen una prevalencia mucho mayor que los de cuerpo, detectándoseles a nivel mundial, incluyendo a los Estados Unidos. Una cabellera larga, sucia y despeinada puede resultar una madriguera apropiada para los piojos y sus liendres (huevos). Afortunadamente, los piojos de cabeza no representan un peligro tan serio para la salud como los piojos de cuerpo.

El abastecimiento de agua y los piojos

La relación existente entre el abastecimiento de agua y los piojos, particularmente los piojos de cuerpo, pueden resumirse así: para evitar o reducir las infestaciones de piojo, debe disponerse fácilmente de agua en cantidad suficiente para bañarse y lavar la ropa con frecuencia. El baño pierde su valor para las personas infestadas si éstas vuelven a usar las mismas ropas que portan los piojos y liendres sin haberlas aseado. El impacto del baño y de la muda de prendas de vestir es mayor cuando los grupos de personas que viven en el mismo lugar lo realizan en forma simultánea. Es necesario que el baño, el lavado y el cambio de prendas de vestir se realicen a nivel de toda la comunidad en forma continua para que sean totalmente efectivos y se evite la reinfestación de piojos de cuerpo. Sería preferible una erradicación total de los piojos; sin embargo, generalmente será suficiente un bajo nivel de prevalencia de piojos por persona para prevenir enfermedades epidémicas transmitidas por piojos.

Un estudio reciente realizado en Etiopía mostró el efecto que tiene el lavado y el cambio de las prendas de vestir sobre la prevalencia de la infestación de piojos en la comunidad. La prevalencia de la pediculosis ascendió a niveles tan altos como el 97% entre aquellas personas que no lavaban su ropa ni se cambiaban y a niveles tan bajos como el 14% entre aquellas personas que sí lo hacían. Tan importante como la prevalencia es el número promedio de piojos por persona infestada, que para aquellos que lavaban su ropa y se cambiaban por lo menos una vez a la semana fue de un solo piojo (Sholdt y otros, 1979).

Antes que se descubrieran insecticidas como el DDT, el baño y la desinfestación de las prendas de

vestir mediante medios físicos (por ejemplo, el calor) eran medidas comunes para el control de los piojos. Actualmente, los insecticidas constituyen el método a elegir ante una pediculosis evidente y tienen muchas ventajas: efectividad inmediata, bajo costo por persona, acción necesaria mínima por población en riesgo, etc. Sin embargo, los piojos han demostrado su capacidad para desarrollar resistencia a los insecticidas y reinfestar rápidamente las comunidades si no se cambian las condiciones básicas de higiene. Desde antes del advenimiento de los insecticidas químicos, la gran mayoría de comunidades de los países desarrollados ya se habían librado de las enfermedades transmitidas por piojos.

Tifus epidémico transmitido por piojos

El tifus transmitido por piojos es una enfermedad aguda, altamente contagiosa, febril, exantemática (caracterizada por un salpullido) que se manifiesta en forma epidémica. Ante la ausencia de una terapia específica, el índice de mortalidad fluctúa entre el 10 y 40%, incrementándose con la edad y la desnutrición. Esta enfermedad se ha detectado en México, Guatemala, los países andinos, gran parte de África y Medio Oriente, las regiones montañosas de Asia y también en Europa Oriental.

El agente infeccioso, *Rickettsia prowazekii*, se transmite de persona a persona a través de los piojos, principalmente a través del piojo de cuerpo (*Pediculus humanus* var. *corporis*), pero algunas veces también a través del piojo de la cabeza (*Pediculus humanus* var. *capitis*) (Faust, Russell y Jung, 1970). El piojo se contagia (y muere a las dos semanas) al alimentarse con sangre de una persona enferma de tifus. Los piojos infectados excretan rickettsia en sus heces y generalmente defecan al mismo tiempo que se alimentan. El hombre se contagia al rascarse, haciendo ingresar las heces del piojo en la herida ocasionada por la picadura de éste o en las rascaduras que se forman en la piel al rascarse. También puede contribuir al contagio la inhalación de las heces secas infectadas del piojo o del polvo de la ropa sucia (Benenson, 1975).

Las medidas preventivas incluyen aplicaciones repetidas de insecticidas residuales como DDT o malatión, la inmunización (con una dosis reforzadora anual) y la mejora de las condiciones de vida, brindando las condiciones para baños frecuentes, así como para el lavado de la ropa y su muda regular.

Enfermedad de Brill-Zinsser

Esta enfermedad fue observada por primera vez en 1910 en Nueva York por Brill; posteriormente, en 1934, Zinsser descubrió que era una forma benigna, recidiva del tifus transmitido por piojos (Woodward, 1977). La confusión que se presentó en un inicio se debería a la aparición de la enfermedad en ambientes libres de piojos.

La recuperación clínica de un ataque de tifus epidémico no significa necesariamente que la rickettsia haya sido erradicada. Esta puede volver a entrar en actividad años después de la aquiescencia. De este modo, el hombre mismo actúa como portador de la enfermedad entre brotes epidémicos. Así, el retorno de los piojos de cuerpo a una parte del mundo aparentemente libre del tifus puede traer consigo nuevas epidemias.

Fiebre recidiva epidémica transmitida por piojos

Fiebre recidiva es el nombre que se le da a una enfermedad caracterizada por 1, 2 o inclusive 10 relapsos de paroxismo febril primario. Existen dos formas principales: la epidémica, transmitida por los piojos de cuerpo, y la endémica, transmitida por ciertas garrapatas. El agente infeccioso es la espiroqueta *Borellia recurrentis*.

Los síntomas incluyen: ataque repentino, escalofríos, dolor de cabeza, dolor corporal, algunas veces náuseas o vómitos, fiebres de 102°F a 104°F, ictericia en un 20 a 60% y bronquitis en un 40 a 60% de las personas atacadas. La temperatura desciende en 3 a 9 días y la recaída puede ocurrir 11 a 15 días después. Las mujeres embarazadas abortan. Bajo buenas condiciones, el índice de mortalidad es de 5% aproximadamente; durante guerras o hambrunas, puede llegar al 70% (Wilson y Miles, 1975). La transmisión de la fiebre recidiva epidémica transmitida por piojos es similar a la del tifus; sin embargo, el piojo vive más tiempo, hasta 40 días.

En Europa ocurrieron epidemias devastadoras durante la hambruna de Irlanda (1846-1850) y durante la Primera Guerra Mundial en Rusia y Europa Central. Durante la década de los 20, una epidemia causó la muerte a cientos de miles en África del Norte, muriendo más de 200,000 sólo en el Sudán. La mayoría de casos sobre los que se tiene información actualmente siguen procediendo del África (Tarizz 1973).

Al igual que el tifus epidémico, "la fiebre recidiva está relacionada con una higiene personal y un saneamiento deficientes, en especial con el hacinamiento, la desnutrición y el uso de ropas sucias, infestadas" (Wilson y Miles, 1975).

Las medidas de prevención y control son similares a las del tifus epidémico; sin embargo, no existe una vacuna para la fiebre recidiva.

Fiebre de Wolhyn (Fiebre de las Trincheras)

Es una enfermedad no fatal, fuertemente incapacitante, febril, autolimitante e infecciosa, producida por la *Rickettsia quintana* (sin. *R. pediculi*, *R. weiglii* y *R. wolhynica*). Se presentaron epidemias entre los soldados en los campos de batalla europeos en ambas guerras mundiales. Probablemente ocurren casos esporádicos en áreas de focos endémicos sin que sean reconocidos. Se han detectado focos endémicos de infección en Polonia, Rusia, México, Etiopía y África del Norte. El organismo probablemente pueda encontrarse en cualquier lugar donde coexistan el hombre y el piojo de cuerpo. Al igual que en las enfermedades anteriores, la prevención se realiza mediante medidas de control de los piojos.

Pediculosis (Infestación de piojos)

La pediculosis es la infestación de piojos de cuerpo, de cabeza o de pubis. La pediculosis, especialmente en el caso de la infestación de piojos de cuerpo, es una advertencia de la transmisión potencial de enfermedades de riesgo mortal como el tifus. Sin embargo, las lesiones cutáneas resultantes de las picaduras de los piojos causan invariablemente un deseo de rascarse los sitios afectados. Frecuentemente, la piel se llena de costras y a veces se engruesa y adquiere un color oscuro por la presencia de pigmentos; a esta condición se le conoce como *enfermedad del vagabundo*. La saliva y las heces de los piojos pueden inducir a hipersensibilidad dérmica.

Enfermedades de la piel

Las lesiones producidas por las picaduras de los piojos, por la irritación y sensibilidad de la piel y por el hecho de rascarse muy fuerte, pueden dar como resultado una dermatitis secundaria o infecciones causadas por estafilococos, estreptococos y otras bacterias que se manifiestan en eczemas, foliculosis, impétigo, pioderma y otras condiciones

patológicas de la piel. Aunque rara vez constituyen una amenaza de muerte, estas condiciones pueden ser importantes en conjunto. Por ejemplo, 10,000 de los soldados del Segundo Ejército que acudieron a recibir atención médica en 1917 (10%), lo hicieron debido a inflamaciones en la piel atribuibles a piojos (Buxton, 1947).

Bibliografía sobre enfermedades transmitidas por piojos

- Borror, Donald J. y DeLong, Dwight M. 'An Introduction to the Study of Insects', 3ra. edición. Holt, Reinhart, and Winston, Nueva York. 812 págs. 1971.
- Busvine, J. R. 'Lice' (Piojos). 4ta. edición. British Museum (Natural History) Economic Series No. 2A. British Museum, Londres. 23 págs. 1969.
- Busvine, J. R. 'Insects and Hygiene', 2da. edición. Methuen and Co., Londres. 467 págs. 1966.
- Busvine, J. R. 'Insects, Hygiene and History'. Athlone Press, Londres. 262 págs. 1976.
- Buxton, P. A. 'The Louse' (El piojo), 2da. edición. Arnold, Canadá. 164 págs. 1947.
- Cartwright, Frederick F. 'Disease and History' (Enfermedades e historia). New American Library, Nueva York. 240 págs. 1972.
- Faust, Ernest Carroll, Russell, Paul Farr y Jung, Rodney Clifton. 'Clinical Parasitology'. 8va edición. Lea & Febiger, Filadelfia. 890 págs. 1970.
- Gaud, M., Khalil, Mohammed y Vaucel, M. "The Evolution of the Epidemic of Relapsing Fever, 1942-1946" (La evolución de la epidemia de fiebre recidiva, 1942-1946). *Bulletin World Health Organization*. 1 (1): 93. 1947/48.
- Gaud, M. y Morgan, M. T. "Epidemiological Study of Relapsing Fever in North Africa (1943-1945)" (Estudio epidemiológico de la fiebre recidiva en África del Norte (1943-1945)). *Bulletin World Health Organization*. 1 (1): 89-92. 1947/48.
- McLeod, J. y Cranford-Benson, H. J. "Observations on Natural Populations of the Body Louse, *Pediculus humanis corporis* DeG" (Observaciones sobre poblaciones naturales del piojo de cuerpo). *Parasitology* 33: 278-299. 1941.
- McNeill, William H. 'Plagues and Peoples' (Las plagas y las poblaciones). Anchor Press/Doubleday, Garden City, N. Y. 369 págs. 1976.
- Maunder, J. M. "Human Lice —Biology and Control" (Piojos del hombre —Su biología y control). *Royal Society Health Journal*. 97: 29-32. 1977.
- Organización Panamericana de la Salud. "International Symposium on the Control of Louse-Borne Disease" (Simposium internacional sobre el control de enfermedades transmitidas por piojos). Scientific Publication No. 263. Organización Panamericana de la Salud, Washington. 311 págs. 1973.
- Plorde, James J. "Relapsing Fever" (Fiebre recidiva). Cap. 167 en: Thorn, George W. y otros, editores, 'Harrison's Principles of Internal Medicine', 8va. edición, Mc-Graw Hill Book Co., Nueva York. págs. 934-936. 1977.

Pratt, Harry D. y Litting, Kent S. "Lice of Public Health Importance and Their Control" (Piojos —Su importancia en la salud pública y su control). US Public Health Service Publication N. 772. US Public Health Service, Atlanta. 16 págs. 1961.

Radeliffe, Chistian E. "Pediculosis". Cap. 49 en: Top, Franklin H. y Wehrle, Paul F., editores, 'Communicable and Infectious Diseases', 8va. edición, C. V. Mosby Company, Saint Louis. págs. 487-490. 1976.

Rocha Lima, Henrique da. 'Estudios Sobre o Tifo Exantemático'. Universidad de São Paulo, São Paulo. 596 págs. 1966.

Sholdt, L. Lance, Holloway, Marvin L. y Fronk, W. Don. "The Epidemiology of Human Pediculosis in Ethiopia" (La epidemiología de la pediculosis humana en Etiopía). Special Publication. Navy Disease Vector Ecology and Control Center, Jacksonville, Fla. 150 págs. 1979.

Tarizzo, M. L. "Geographic Distribution of Louse-Borne Diseases" (Distribución geográfica de las enfermedades transmitidas por piojos). En: Organización Panamericana de la Salud. "International Symposium on the Control of Louse-Borne Disease (Simposium internacional sobre el control de enfermedades transmitidas por piojos).

Scientific Publication No. 263. Organización Panamericana de la Salud, Washington. págs 50-59. 1973.

William, Roger W. "Pediculosis". Cap. 108 en: Hoeplich, Paul D., editor, 'Infectious Diseases', 2da. edición, Harper & Row, Publishers, Hagerstown, Md. págs. 864-866. 1977.

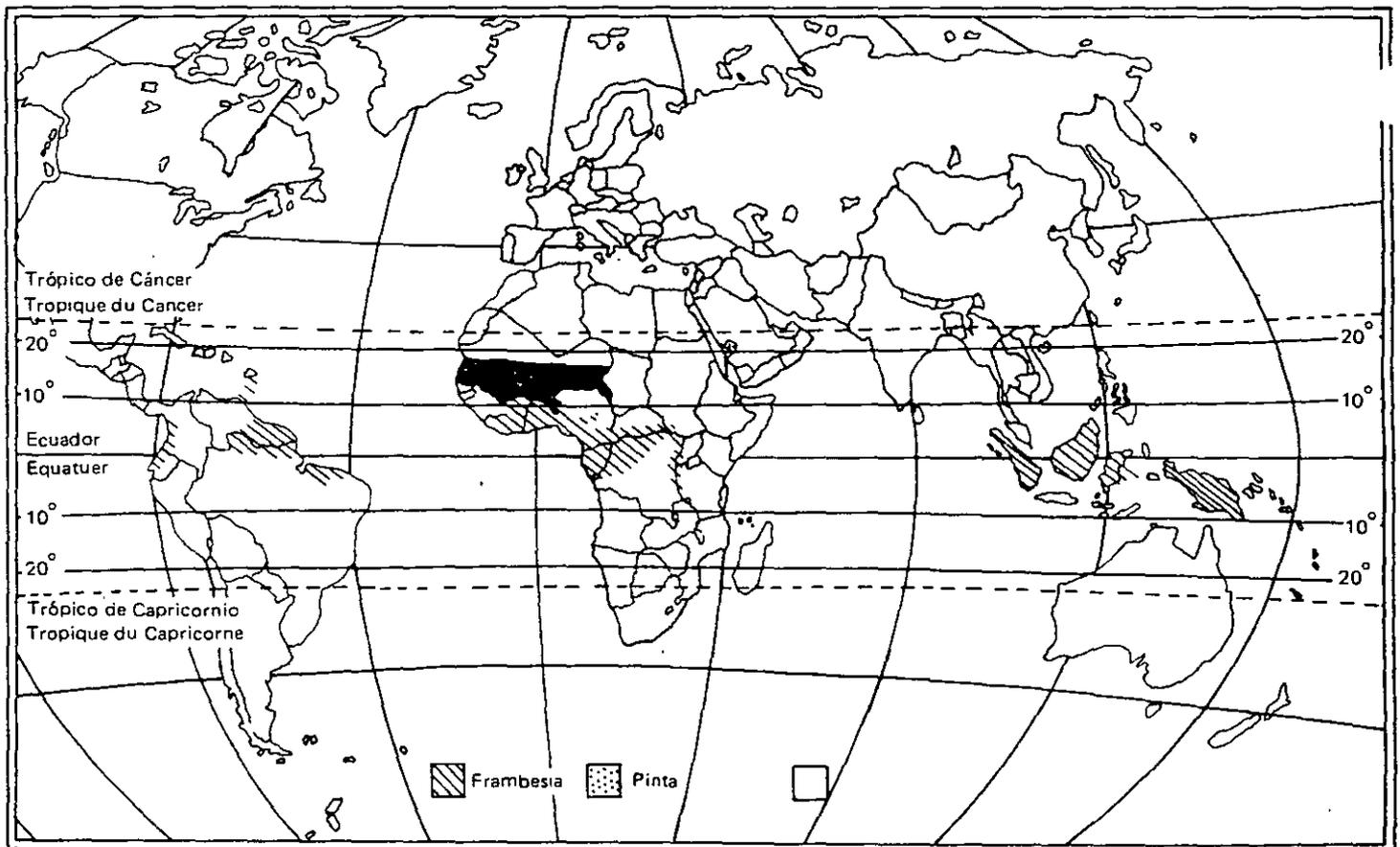
Woodward, Theodore E. "The Rickettsioses". Sección 12 en: Thorn, George W. y otros, editores, 'Harrison's Principles of Internal Medicine', 8va. edición, Mc-Graw Hill Book Co., Nueva York. págs. 953-967. 1977.

Zinsser, Hans. 'Rats, Lice and History' (Ratas, piojos e historia). Little, Brown and Co., Boston. 301 págs. 1935.

TREPONEMATOSIS NO VENÉREAS: FRAMBESIA, PINTA Y SÍFILIS ENDÉMICA

Introducción

La frambesia, la pinta y la sífilis endémica (bejel) son enfermedades del hombre ocasionadas por agentes infecciosos que no se distinguen morfológi-



Fuente: OMS, 1981

Figura 3-2 Distribución geográfica de la treponematosi endémica a principios de la década de 1980.

amente de la *Treponetoma pallidum*, la espiroqueta que es el agente infeccioso de la sífilis venérea. Sin embargo, la frambesia, la pinta y la sífilis endémica no se transmiten sexualmente. Son enfermedades que se presentan en los niños y están relacionadas con la pobreza y con una higiene personal y comunal deficiente.

Su carácter endémico ha descendido con la mejora en los niveles de vida y de higiene. La frambesia fue el objetivo de una campaña global masiva de tratamiento a base de penicilina durante 1950-1960. Sin embargo, aún se encuentra treponematosis no venérea en un área extensa, como se ilustra en la figura 3-2, principalmente en las regiones tropicales de América Latina y el Caribe, en África, el Suroeste asiático y el Pacífico. La frambesia se presenta en áreas húmedas y la sífilis endémica en áreas áridas. Los estudios recientes de la OMS sobre sífilis endémica en la región de Sahel del África han detectado que aproximadamente 2.8 millones, de los 30 mill. que habitan en la región, están en riesgo de contagio (OMS, 1981). La frambesia ha resurgido

en partes de África, mientras que en las Américas persisten los focos aislados.

Características de las treponematosis

El Cuadro 3-3 resume la etiología, la epidemiología y las manifestaciones clínicas de las treponematosis (Holmes y Harnisch, 1977). La transmisión de la sífilis endémica es particularmente interesante. Existen evidencias considerables que sugieren que los utensilios usados para beber constituyen un importante mecanismo de transmisión de la enfermedad (Demis, 1977; Grin, 1953; Guthe, 1969 y Willcox, 1970). El agente infeccioso se transmite por las lesiones en la boca de la persona enferma. La humedad de la taza o vaso permite a la frágil espiroqueta sobrevivir en el medio ambiente externo hasta que es ingerida por un nuevo huésped.

Las treponematosis no venéreas raramente son mortales, pero pueden desfigurar e inutilizar al enfermo. Hasta un 10% de las víctimas de frambesia que no reciben tratamiento pueden quedar inválidas (Guthe, 1969).

Cuadro 3-3 Etiología, Epidemiología y Manifestaciones Clínicas de la Treponematosis				
	<i>Sífilis venérea</i>	<i>Sífilis endémica</i>	<i>Frambesia</i>	<i>Pinta</i>
Organismo	<i>T. pallidum</i>	<i>T. pallidum endemicum</i>	<i>T. pertenue</i>	<i>T. carateum</i>
Transmisión	Sexual, transplacentar ¹	Contactos domésticos: Boca a boca o vía utensilios de comida y bebida	Piel a piel ?Insecto vector	Piel a piel ?Insecto vector
Edad Usual	Adulto	Primer infancia	Primera infancia	Adolescencia
Lesión primaria	Úlcera cutánea (chancro)	Raramente vistas	"Frambesia madre"	Pápula no ulcerante con télites
Lesión secundaria	Mucocutánea; periostitis ocasional	Lesiones mucocutáneas desarrolladas (placa mucosa, pápula agrietada, condyloma latum); osteoperiostitis	Lesiones cutáneas escamopulosas	Píntides
Terciana	Goma, sífilis cardiovascular y del sist. nervioso central	Gomas osteoarticulares cutáneas destructivas	Gomas osteoarticulares cutáneas destructivas	Máculas acrómicas, dicrómicas

¹ Como las treponematosis no venéreas generalmente se adquieren en la niñez y la bacteremia treponemal cesa con el tiempo, solamente en el caso de la sífilis venérea adquirida en la adultez existe alguna probabilidad de que una madre contagie al niño que va a dar a luz.
Fuente: Holmes y Harnisch, 1977

El rol del abastecimiento de agua en el control de la frambesia, la pinta y la sífilis endémica

Al término de la Segunda Guerra Mundial, existían alrededor de 100 millones de personas infectadas con frambesia, con una prevalencia del 25% en áreas endémicas de Africa, Asia y América Latina (Guthe, 1969). La pinta y la sífilis endémica también estaban ampliamente difundidas (OMS, 1981). Si bien las campañas de penicilina aceleraron la reducción de su prevalencia, las tres enfermedades iban disminuyendo su presencia, sin necesidad de una atención directa, a medida que las áreas endémicas iban consiguiendo mejores condiciones de higiene ambiental. La eficacia de la instalación de abastecimientos de agua como medida preventiva para estas enfermedades ha sido bien establecida. Las siguientes citas son ilustrativas:

"... un factor importante en la reducción de la prevalencia de la frambesia en una comunidad, probablemente al reducir su transmisión, es la presencia de un abastecimiento de agua adecuado y moderadamente accesible... de aproximadamente cinco galones per cápita diarios... una cantidad mayor de agua convenientemente ubicada... en aquellos lugares donde el abastecimiento de agua puede no ser el adecuado en todas las épocas del año" (Hackett, 1960).

"La educación para la salud debería aspirar a la mejora de la higiene personal (jabón) y de la higiene comunal (agua)" (Guthe, 1979).

"La sífilis endémica es fácilmente prevenible con el mejoramiento del nivel general de higiene y de las condiciones de vida" (Denis, 1977).

"La simple introducción del uso de agua y jabón ha producido generalmente una disminución en el número de casos de frambesia (Dennis, 1977).

Bibliografía sobre frambesia y sífilis endémica

- Akrawi, F. "Is Bejel Syphilis?" (Es sífilis el bejel?). *British Journal of Venereal Diseases*. 25 (3): 115-123. 1949.
- Demis, D. Joseph. "Nonsyphilitic Trepanomatosis". Cap. 102 en: Hoepfich, Paul D., editor, 'Infectious Diseases', 2da. edición, Harper & Row, Publishers, Hagerstown, Md. págs. 823-835. 1977.
- Grin, E. I. "Epidemiology and Control of Endemic Syphilis". Monograph Series No. 11. Organización Mundial de la Salud. Ginebra, 93 págs. 1953.
- Guthe, Th. "Clinical, Serological and Epidemiological Features Framboesia Tropica (Yaws) and Its Control in Rural Communities" (Características clínicas serológicas y epidemiológicas de la frambesia y su control en las comunidades rurales). *Acta Dermato-Venerológica*. 49 (4): 343-368. 1969.
- Guthe, Thorstein. "Nonsyphilitic Treponematosis". En: Beeson, Paul B., Mc Dermott, Walsh y Wyngaarden, James

- B., editores, 'Cecil Textbook of Medicine'. 15ta. edición, W. B. Saunders Company, Filadelfia. págs. 518-525. 1979.
- Hackett, C. J. "Epidemiological Aspects of Yaws Eradication" (Aspectos epidemiológicos de la erradicación de la frambesia). *Bulletin World Health Organization*. 23: 739-761. 1960.
- Holmes, King K. y Harnisch, James P. "Nonvenereal Treponematosis: Yaws, Pinta and Endemic Syphilis" (Treponematosis no venéreas: Frambesia, pinta y sífilis endémica). Cap. 165 en: Thorn, George W. y otros, editores, 'Harrison's Principles of Internal Medicine', 8va. edición, Mc-Graw Hill Book Co., Nueva York. págs. 928-931. 1977.
- Organización Mundial de la Salud. "Endemic Treponematosis" *Weekly Epidemiological Record*. 56 (31): 241-244. 7 agosto 1981.
- Vogel, L. C. y Huma, P. O. "Yaws" (Frambesia). En: Vogel, L. C. y otros, editores, 'Health and Disease in Kenya', East Africa Literature Bureau, Nairobi. Págs. 371-373. 1974.
- Willcox, R. R. "Venereal Disease and the Treponematosis" (Enfermedades venéreas y las treponematosis). Cap. 29 en: Jelliffe, D. B., editor, 'Diseases of children in the Subtropics and Tropics', Williams and Wilkins Co., Baltimore. Págs. 727-750. 1970.

TRACOMA

Antecedentes

Esta enfermedad es la principal causa a nivel mundial de los casos de pérdida de la visión y ceguera que podrían evitarse. Se estima que unos 400 a 500 millones de personas sufren de tracoma, de los cuales 2 millones están ciegos y 8 millones corren el riesgo de estarlo (Helen Keller International, 1980; OMS, 1979; OMS, 1973). En áreas con un carácter endémico severo, el tracoma no controlado puede producir la ceguera a un 1% y quizá hasta a un 3% de la población (OMS, 1979).

La enfermedad está muy difundida y las áreas peor afectadas son Nor-Africa, el Medio Oriente y ciertas regiones de Africa y del Asia Meridional. El tracoma es una enfermedad poco contagiosa. Su ausencia en los médicos y turistas que se encuentran en áreas epidémicas sugiere que es necesaria una exposición repetida y a largo plazo para contraer la enfermedad. Las áreas epidémicas se caracterizan por los hábitos anti-higiénicos, la falta de agua para la higiene personal, el hacinamiento y la presencia abundante de moscas.

El curso de la enfermedad varía considerablemente. En algunos casos, las reinfecciones, posiblemente asociadas a reacciones hipersensibles y/o infecciones relacionadas (por ejemplo: conjuntivitis bacteriana) pueden conducir a un daño progresivo del ojo y

finalmente a la ceguera. Los irritantes mecánicos, particularmente el polvo y el humo pueden jugar un papel importante.

Patología

Tracoma es una palabra que se deriva del griego y puede traducirse literalmente como "ojo irritado" (Gilkes, 1962). El término es considerablemente antiguo y fue utilizado por Hipócrates. La enfermedad es básicamente una inflamación severa y prolongada de la conjuntiva del ojo, acompañada de lesiones y cicatrizaciones en la córnea, a las que en su conjunto se conocen como pannus.¹ Las etapas más avanzadas del tracoma pueden conducir a la cicatrización de la conjuntiva, lo cual puede producir una total deformación de los párpados, un deterioro visual progresivo y la ceguera. Los bordes de los párpados pueden doblarse hacia adentro (entropción), así como las pestañas (triquiasis). La

¹ La conjuntiva está formada por las delicadas membranas que revisten los párpados y cubren el globo ocular. La córnea es la parte frontal transparente del ojo. Pannus es la invasión de la córnea por vasos sanguíneos y masas de tejido pequeñas y redondeadas durante el proceso de cicatrización, formando un velo sobre la superficie de la córnea. Véase figura. 3-3: "El Ojo Humano".

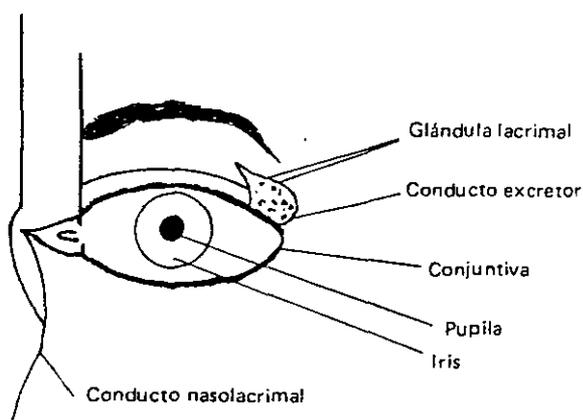
lacrimación (función lacrimal) también puede deteriorarse. Este proceso puede desarrollarse insidiosamente a lo largo de décadas.

El agente infeccioso es la *Chlamydia* (Bedsonia) *tracomatis*, un parásito con algunas propiedades tanto de bacteria como de virus; por ejemplo, se multiplica sólo intracelularmente como los virus pero contiene ácido ribonucleico (ARN) y ácido desoxiribonucleico (ADN) como las bacterias (Wilson y Miles, 1975).

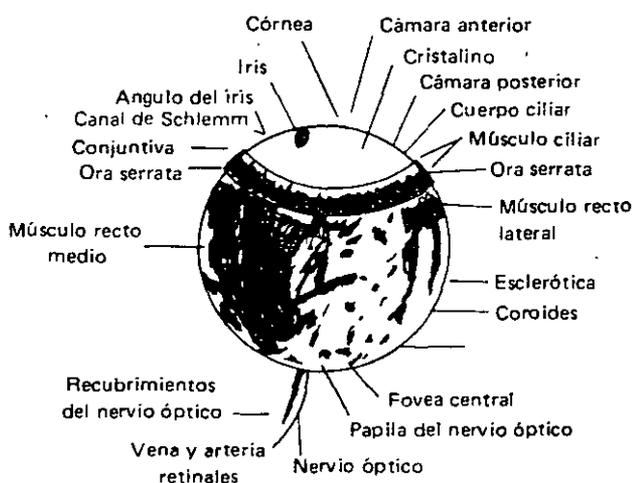
Epidemiología y control

El tracoma se transmite básicamente de ojo a ojo en regiones endémicas, aunque es posible la transmisión venérea. La susceptibilidad es general y no existe evidencia de que la infección confiere inmunidad (Benenson, 1981). No se ha probado aún una vacuna efectiva para su uso en campo (Holmes, 1981; Helen Keller International, 1980 y otros).

En áreas endémicas, generalmente los niños presentan la enfermedad activa con mayor frecuencia que los adultos. La severidad de la enfermedad a menudo está relacionada con las condiciones ambientales —falta de agua, polvo y arena seca, viento seco, moscas, condiciones diferentes de higiene, hacinamiento.



EL APARATO LACRIMAL



SECCIÓN HORIZONTAL DEL OJO

Figura 3.3 El ojo humano. FUENTE: Adaptado de *Dorland's Pocket Medical Dictionary*, W.B. Saunder's Co., Philadelphia, Plate XIII, 1977.

Las medidas de prevención y control comprenden:

1. Detección de casos y tratamiento, especialmente en niños de corta edad.
2. Educación de la salud, especialmente higiene personal. Se debe enfatizar los riesgos del uso de recipientes y toallas comunes en el lavado, así como el rol que cumplen las madres en la transmisión.
3. Tratamiento quimioterapéutico con antibióticos. Los más usados son los ungüentos de tetraciclina en suspensiones de aceite. El tratamiento requiere de su aplicación repetida durante muchos meses.
4. Tratamiento quirúrgico cuando los tejidos han sido dañados por el proceso de infección o por la cicatrización.
5. Mejoramiento del saneamiento básico, especialmente en cuanto al acceso y uso de agua y jabón.

Abastecimiento de agua y tracoma

La mayor parte de las autoridades coinciden en que el método más efectivo para la prevención o reducción del tracoma es la higiene personal y pública, enfatizando el uso de agua. Se debe tener fácil acceso a una cantidad abundante de agua; es decir, el agua debe estar a la mano. La *Chlamydia trachomatis* se puede transmitir directamente por el agua, especialmente a través de recipientes comunes utilizados para el lavado; sin embargo, éste es sólo uno de los numerosos mecanismos de la transmisión. El contacto directo con descargas de ojos infectados o con materiales contaminados por dichas descargas (por ejemplo, el delantal de una madre utilizado para limpiar las caras de sus niños) es probablemente el medio de transmisión más importante.

El rol más importante del agua en la prevención consiste en que cuando se dispone rápidamente de ésta, las infecciones de tracoma "no pegan", es decir, no generan manifestaciones patógenas.

Tres estudios existentes demuestran lo anterior a través de mediciones de campo cuantitativas:

1. Tracoma en las islas Ryukyu durante la década de los 60 (Carter, 1968): El tracoma tuvo una prevalencia seis veces mayor (24.1%) en una ciudad cuyas casas no contaban con un

abastecimiento entubado de agua en comparación con otra ciudad que sí contaba con este sistema (4.1%). La prevalencia del tracoma en una aldea que no contaba con abastecimiento entubado de agua fue casi diez veces mayor (42%) que la prevalencia en cuatro aldeas que sí contaban con este sistema (4.5%).

2. El tracoma en Baribanki Bloch, Uttar Pradesh, India (Misra, 1971; Cvjetanovic, 1980): Luego de la introducción de un abastecimiento entubado de agua en 1965, la morbilidad por tracoma cayó en un 90% y la conjuntivitis descendió en un 80%.
3. El tracoma en Taiwán durante 1970-71 (Assaad y otros, 1969): La prevalencia en una población que utilizaba agua procedente de grifos domésticos fue de 14.5%, incrementándose hasta 24.1% para aquellos que extraían el agua de pozos ubicados al costado de la casa. Cuando los pobladores tenían que recorrer 100 metros o más, la prevalencia se duplicaba.

A pesar de que el número de estudios de campo rigurosamente cuantitativos es limitado, la importancia del abastecimiento de agua en la prevención y control del tracoma (y de la conjuntivitis) es ampliamente reconocida.

Bibliografía sobre tracoma y conjuntivitis

- Amies, C. R., Loewenthal, L. J. A., Murray, N. L. y Scott, J. Graham. "Blindness in the Batú. A Survey of External Eye Disease and Malnutrition in the North Eastern Transvaal" (Ceguera en el Batú. Un estudio sobre enfermedades externas del ojo y la malnutrición en la región noreste de Transvaal). *South African Medical Journal*. 27 (29): 594-597. 1953.
- Assaad, F. A., Maxwell-Lyons, F. y Sundaresan, T. "Use of local Variations in Trachoma Endemicity in Depicting Interplay between Socio-economic Conditions and Disease" (Utilización de las variaciones locales en la endemividad del tracoma para describir la interacción existente entre condiciones socio-económicas y enfermedad). *Bulletin World Health Organization*. 41: 181-194. 1969.
- Benenson, Abram S., editor. 'Control of Communicable Diseases in Man'. 13a. edición. American Public Health Association, Washington. 443 págs. 1981.
- Bietti, G. B. y Werner, G. M. 'Trachoma —Prevention and Treatment'. Charles C. Thomas, Springfield, Ill. 227 págs. 1967.
- Bisley, G. G. y Burkitt, W. R. "Eye Diseases" (Enfermedades a los Ojos). En: Vogel, L. C. y otros, editores, 'Health and Disease in Kenya', East Africa Literature Bureau, Nairobi. Págs. 461-468. 1974.

- Cvjetanovic, B. "Banki Block (Barabanki) Programme of Rural Water Supply in the State of Uttar Pradesh, India" (Programa de Barabanki para abastecimiento rural de agua en el estado de Uttar Pradesh, India). Anexo 1 (10 págs.) en: Cvjetanovic, Branko, "Effect of Water Supply and Sanitation on Health in Rural Communities in Developing Countries", informe inédito. Zagreb, Yugoslavia, 42 págs. más 2 anexos. 1980.
- Davey, W. H. y Lightbody, W. P. H. "The Control of Disease in the Tropics". H. K. Lewis & Co. Ltd., Londres. 422 págs. 1961.
- Damato, F. J. "The Fight Against Trachoma in the Island of Malta" (La lucha contra el tracoma en la isla de Malta). *British Journal of Ophthalmology*. 45: 71-74. 1961.
- Detels, R. y otros. "Trachoma in Punjab Indians of British Columbia. A Prevalence Study with Comparisons to India". *American Journal of Epidemiology*. 84: 81-90. 1966.
- Felsenfeld, O. "The Epidemiology of Tropical Diseases". Charles C. Thomas, Springfield, 111. 488 págs. 1966.
- Gilkes, M. J. "Trachoma". *Chemotherapy Review*. 4 (3): 176-179. 1962.
- Gilkes, M. J. Comunicación particular. 1980.
- Grayston, J. Thomas y Dawson, Chandler R. "Eye Infections with Trachoma and Inclusion Conjunctivitis" (Infecciones del ojo con tracoma y conjuntivitis con inclusión). Cap. 189 en: Thorn, George W. y otros, editores, 'Harrison's Principles of Internal Medicine', 8va. edición, Mc-Graw Hill Book Co., Nueva York. págs. 970-972. 1977.
- Garyston, J. Thomas y Wang, San-pin. "New Knowledge of Chlamydiae and the Diseases They Cause" (Nuevos conocimientos sobre las Chlamydiae y las enfermedades que causan). *Journal of Infectious Disease*. 132 (1): 87-105. 1975.
- Helen Keller International, Inc. "Background Paper: Blindness in the Developing World" (Ceguera en el tercer mundo). Helen Keller International, Inc., Nueva York, 46 págs. 1980.
- Holmes, King K. "The Chlamydia Epidemic". *Journal American Medical Association*, 245 (17): 1718-1723. 1981.
- Hunter, George W., Frey, William W. y Swartzweider, J. Clyde. 'A Manual of Tropical Medicine'. 4ta. edición. W. B. Saunders Co., Filadelfia. 931 págs. 1966.
- Jawetz, Ernest. "Agents of Trachoma and Inclusion Conjunctivitis". *Annual Review of Microbiology*. 18: 301-334. 1964.
- Jawetz, Ernest, Melnick, Joseph L. y Adelberg, Edward A. 'Review of Medical Microbiology'. 3ra. edición. Lange Medical Publications, Los Altos, Ca. 550 págs. 1978.
- Jawetz, Ernest. "Trachoma and Inclusion Conjunctivitis". En: Beeson, Paul B., McDermott, Walsh and Wyngaarden, James B., editores, 'Cecil Textbook of Medicine', 15a edición, W. B. Saunders Company, Filadelfia. págs. 332-335. 1979.
- Kupka, K., Nizetic, B. y Reinhardts, J. "Sampling Studies on the Epidemiology and Control of Trachoma in Southern Morocco" (Estudios con muestreo sobre la epidemiología y el control del tracoma en el sur de Marruecos), *Bulletin World Health Organization*. 39: 547-566. 1968.
- Marshall, Carter L. "The Relationship Between Trachoma and Piped Water in a Developing Area" (La relación entre el tracoma y el abastecimiento entubado de agua en un área en desarrollo). *Archives Environmental Health*. 17: 215-220. 1968.
- Marshall, Carter L. "Some Exercises in Social Ecology: Health, Disease and Ryukyu Islands" (Algunos ejercicios sobre ecología social: Salud, enfermedad y las islas Ryukyu). En: Farvar, Taghi M. y Milton, John B., editores, 'The Careless Technology and International Development'. Natural History Press, Nueva York. Págs. 5-18. 1972.
- Mathur, G. M. y Sharma, Rameshwar. "Prevalence of Trachoma and Other Common Eye Diseases" (Prevalencia del tracoma y de otras enfermedades comunes de los ojos). *Indian Journal of Medical Research*. 58: 1085-1097. 1970.
- Meek, Edward S. y Golden, Bruce. "Conjunctivitis and Scleritis". Cap. 154 en: Hoepflich, Paul D., editor, 'Infectious Diseases', 2da. edición, Harper & Row, Publishers, Hagerstown, Md. Págs. 1172-1173. 1977.
- Misra, L. K. "Safe Water in Rural Areas - An Experiment in Promoting Community Participation in India". *International Journal of Health Education*. 18: 53-59. 1971.
- Nichols, Roger L., editor. 'Trachoma and Related Disorders Caused by Chlamydial Agents' (Tracoma y desórdenes relacionados causados por agentes Chlamydia). *Excerpta Medica*, Nueva York. 586 págs. 1971.
- Organización Mundial de la Salud. "Data on Blindness Throughout the World" (Datos sobre ceguera en todo el mundo). *WHO Chronicle*. 33: 275-283. 1979.
- Organización Mundial de la Salud. "The Prevention of Blindness" (Prevención de la ceguera). Technical Report Series No. 518. Ginebra. 18 págs. 1973.
- Organización Mundial de la Salud. "Trachoma". Technical Report Series No. 234. 48 págs. 1962.
- Ostler, H. Brice y Braley, Alson E. "Trachoma". Cap. 68 en: Top, Franklin H. y Wehrle, Paul F., editores, 'Communicable and Infectious Disease', 8va. edición, C. V. Mosby Company, Saint Louis. Págs. 709-718. 1976.
- Pratt-Johnson, John A. y Wessels, Jurie H. W. "Investigation into the Control of Trachoma in Sekhunkuniland". *South African Medical Journal*. 32: 212-215. 1958.
- Reinhardts, J. "Aspects Actuels et Problemes de L'Epidemiologie du trachome". *Revue Internationale du Trachome*. 46/47: 211-295. 1970.
- Schacter, Julius y Dawson, Charles R. Human Chlamydial Infections'. PSG Publishing Co., Inc., Littleton, Mass. 273 págs. 1978.
- Tanaka, Chie. "Epidemic Keratoconjunctivitis in Japan and the Orient". *American Journal of Ophthalmology*. 43 (4, Part II): 46-50. 1957.
- Tarizzo, M. L. "Trachoma". Cap. 16 en: Cruickshank, Robert y otros, 'Epidemiology and Community Health in Warm Clamete Countries', Churchill Livingstone, Edimburgo. Págs. 168-173. 1976.
- Tarizzo, Mario L. "Trachoma". Cap. 152 en: Hoepflich, Paul D., editor, 'Infectious Diseases', 2da. edición, Harper & Row, Publishers, Hagerstown, Md. Págs. 1165-1167. 1977.
- Taylor, Carl E., Gulati, Prem Vir y Harinarain, Joseph. "Eye Infections in a Punjab Village" (Infecciones al ojo en una

- aldea del Punjab). *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 7 (1): 42-50. 1958.
- Thyngson, P., y Dawson, C. "Trachoma and Follucular Conjunctivitis in Children" (Tracoma y conjuntivitis folicular en niños). *Archives and Ophthalmology*. 75: 3-12; 1966.
- Thyngson, Phillips. "Trachoma" e "Inclusion Conjuntivitis". Cap. 30 en: Hunter, George W., III, Swartzwelder, J. Clyde y Clyde, David F. 'Tropical Medicine', 5ta. edición, W. B. Saunders, Filadelfia. págs. 249-253. 1976.
- White, Gilbert F., Bradley, David S. y White, Anne U. 'Drawers of Water, Domestic Water Use in East Africa' (Aca- rreadores de agua, uso doméstico del agua en el Africa Oriental). University of Chicago Press, Chicago. 306 págs. 1972.
- Wilcocks, Charles y Manson-Bahr, P. E. C. 'Manson's Tropical Diseases'. Williams and Wilkins Company, Baltimore. 1164 págs. 1972.
- Wilson, Graham S. y Miles, Ashley. "The Psittacosis-Lymphogranuloma Trachoma Group". Cap 84 en: '(Topley and Wilson's) Principles of Bacteriology, Virology and Immunity', 6ta. edición Williams and Wilkins Co., Baltimore. Vol 2. Págs. 2372-2387. 1975.

MODIFICACION a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Salud.

MODIFICACION A LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, SALUD AMBIENTAL. AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO. LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION.

JAVIER CASTELLANOS COUTIÑO, Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, con fundamento en los artículos 39 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 4o. y 69-H de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo; 13, apartado A) fracción I, 118, fracción II y 119, fracción II de la Ley General de Salud; 41, 43, 45, 46, fracción II, y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 28 y 34 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 214, fracción IV y 225 del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios, y 7, fracciones V y XIX y 25, fracción IV del Reglamento Interior de la Secretaría de Salud, y

CONSIDERANDO

Que con fecha 16 de diciembre de 1999, en cumplimiento del acuerdo del Comité y de lo previsto en el artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, se publicó en el *Diario Oficial de la Federación* el proyecto de la presente Norma Oficial Mexicana a efecto que dentro de los sesenta días naturales posteriores a dicha publicación, los interesados presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario.

Que con fecha 20 de junio de 2000, fueron publicadas en el *Diario Oficial de la Federación* las respuestas a los comentarios recibidos por el mencionado Comité, en términos del artículo 47 fracción III de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Que en atención a las anteriores consideraciones, contando con la aprobación del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, se expide la siguiente:

MODIFICACION A LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, SALUD AMBIENTAL. AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO. LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION

INDICE

0. Introducción
1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Límites permisibles de calidad del agua
5. Tratamientos para la potabilización del agua
6. Métodos de prueba
7. Concordancia con normas internacionales y mexicanas
8. Bibliografía
9. Observancia de la Norma
10. Vigencia
0. Introducción

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características microbiológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas, con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor.

Por tales razones la Secretaría de Salud, propone la modificación a la presente Norma Oficial Mexicana, con la finalidad de establecer un eficaz control sanitario del agua que se somete a tratamientos de potabilización a efecto de hacerla apta para uso y consumo humano, acorde a las necesidades actuales.

1. Objetivo y campo de aplicación

1.1 Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano.

1.2 Esta Norma Oficial Mexicana es aplicable a todos los sistemas de abastecimiento públicos y privados y a cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.

2. Referencias

- | | |
|-----------------------|---|
| 2.1 NOM-008-SCF1-1993 | Sistema General de Unidades de Medida. |
| 2.2 NOM-012-SSA1-1993 | Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados. |
| 2.3 NOM-013-SSA1-1993 | Requisitos sanitarios que debe cumplir la cisterna de un vehículo para el transporte y distribución de agua para uso y consumo. |
| 2.4 NOM-014-SSA1-1993 | Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano, en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados. |
| 2.5 NOM-112-SSA1-1994 | Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable. |
| 2.6 NOM-117-SSA1-1994 | Bienes y Servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica. |

3. Definiciones

Para los efectos de esta Norma Oficial Mexicana se entiende por:

3.1 **Ablandamiento**, proceso de remoción de los iones calcio y magnesio, principales causantes de la dureza del agua.

3.2 **Adsorción**, remoción de iones y moléculas de una solución que presentan afinidad a un medio sólido adecuado, de forma tal que son separadas de la solución.

3.3 **Agua para uso y consumo humano**, agua que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos para la salud. También se denomina como agua potable.

3.4 **Características microbiológicas**, debidas a microorganismos nocivos a la salud humana. Para efectos de control sanitario se determina el contenido de indicadores generales de contaminación microbiológica, específicamente organismos coliformes totales y *Escherichia coli* o coliformes fecales.

3.5 **Características físicas y organolépticas**, las que se detectan sensorialmente. Para efectos de evaluación, el sabor y olor se ponderan por medio de los sentidos y el color y la turbiedad se determinan por medio de métodos analíticos de laboratorio.

3.6 **Características químicas**, las debidas a elementos o compuestos químicos, que como resultado de investigación científica se ha comprobado que pueden causar efectos nocivos a la salud humana.

3.7 **Características radiactivas**, aquellas resultantes de la presencia de elementos radiactivos.

3.8 **Coagulación química**, adición de compuestos químicos al agua, para alterar el estado físico de los sólidos disueltos, coloidales o suspendidos, a fin de facilitar su remoción por precipitación o filtración.

3.9 **Contingencia**, situación de cambio imprevisto en las características del agua por contaminación externa, que ponga en riesgo la salud humana.

3.10 **Desinfección**, destrucción de organismos patógenos por medio de la aplicación de productos químicos o procesos físicos.

3.11 **Evaporación**, separación del agua de los sólidos disueltos, utilizando calor como agente de separación, condensando finalmente el agua para su aprovechamiento.

3.12 **Filtración**, remoción de partículas suspendidas en el agua, haciéndola fluir a través de un medio filtrante de porosidad adecuada.

3.13 **Floculación**, aglomeración de partículas desestabilizadas en el proceso de coagulación química, a través de medios mecánicos o hidráulicos.

3.14 Intercambio iónico, proceso de remoción de aniones o cationes específicos disueltos en el agua, a través de su reemplazo por aniones o cationes provenientes de un medio de intercambio, natural o sintético, con el que se pone en contacto.

3.15 Límite permisible, concentración o contenido máximo o intervalo de valores de un componente, que no causará efectos nocivos a la salud del consumidor.

3.16 Neutralización, adición de sustancias básicas o ácidas al agua para obtener un pH neutro.

3.16.1 Estabilización, obtención de determinada concentración de sales y pH del agua, para evitar la incrustación o corrosión de los materiales con que se fabrican los elementos que la conducen o contienen.

3.17 Osmosis inversa, proceso esencialmente físico para remoción de iones y moléculas disueltos en el agua, en el cual por medio de altas presiones se fuerza el paso de ella a través de una membrana semipermeable de porosidad específica, reteniéndose en dicha membrana los iones y moléculas de mayor tamaño.

3.18 Oxidación, pérdida de electrones de un elemento, ion o compuesto por la acción del oxígeno u otro agente oxidante.

3.19 Potabilización, conjunto de operaciones y procesos, físicos y/o químicos que se aplican al agua en los sistemas de abastecimiento públicos o privados, a fin de hacerla apta para uso y consumo humano.

3.20 Sedimentación, proceso físico que consiste en la separación de las partículas suspendidas en el agua, por efecto gravitacional.

3.21 Sistema de abastecimiento de agua, conjunto de elementos integrados por las obras hidráulicas de captación, conducción, potabilización, desinfección, almacenamiento o regulación y distribución.

4. Límites permisibles de calidad del agua

4.1 Límites permisibles de características microbiológicas.

4.1.1 El contenido de organismos resultante del examen de una muestra simple de agua, debe ajustarse a lo establecido en la Tabla 1.

TABLA 1

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables
<i>E. coli</i> o coliformes fecales u organismos termotolerantes	Ausencia o no detectables

4.1.2 Bajo situaciones de emergencia, las autoridades competentes podrán establecer los agentes biológicos nocivos a la salud que se deban investigar.

4.1.3 Las unidades de medida deberán reportarse de acuerdo a la metodología empleada.

4.1.4 El agua abastecida por el sistema de distribución no debe contener *E. coli* o coliformes fecales u organismos termotolerantes en ninguna muestra de 100 ml. Los organismos coliformes totales no deben ser detectables en ninguna muestra de 100 ml; en sistemas de abastecimiento de localidades con una población mayor de 50 000 habitantes; estos organismos deberán estar ausentes en el 95% de las muestras tomadas en un mismo sitio de la red de distribución, durante un periodo de doce meses de un mismo año.

4.2 Límites permisibles de características físicas y organolépticas.

4.2.1 Las características físicas y organolépticas deberán ajustarse a lo establecido en la Tabla 2.

TABLA 2

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
Olor y sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.

4.3 Límites permisibles de características químicas.

4.3.1 El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 3. Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.

TABLA 3

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Aluminio	0,20
Arsénico (Nota 2)	0,05
Bario	0,70
Cadmio	0,005
Cianuros (como CN ⁻)	0,07
Cloro residual libre	0,2-1,50
Cloruros (como Cl ⁻)	250,00
Cobre	2,00
Cromo total	0,05
Dureza total (como CaCO ₃)	500,00
Fenoles o compuestos fenólicos	0,3
Fierro	0,30
Fluoruros (como F ⁻)	1,50
Hidrocarburos aromáticos en microgramos/l:	
Benceno	10,00
Etilbenceno	300,00
Tolueno	700,00
Xileno (tres isómeros)	500,00
Manganeso	0,15
Mercurio	0,001
Nitratos (como N)	10,00
Nitritos (como N)	1,00
Nitrógeno amoniacal (como N)	0,50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6,5-8,5
Plaguicidas en microgramos/l:	
Aldrin y dieldrin (separados o combinados)	0,03
Clordano (total de isómeros)	0,20
DDT (total de isómeros)	1,00
Gamma-HCH (lindano)	2,00
Hexaclorobenceno	1,00
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0,03
Metoxicloro	20,00
2,4 - D	30,00
Plomo	0,01
Sodio	200,00
Sólidos disueltos totales	1000,00
Sulfatos (como SO ₄ ⁻)	400,00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0,50
Trihalometanos totales	0,20
Yodo residual libre	0,2-0,5
Zinc	5,00

Nota 1. Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

Nota 2. El límite permisible para arsénico se ajustará anualmente, de conformidad con la siguiente tabla de cumplimiento gradual:

TABLA DE CUMPLIMIENTO GRADUAL

Límite permisible mg/l	Año
0,045	2001
0,040	2002
0,035	2003
0,030	2004
0,025	2005

4.3.2 En caso de que en el sistema de abastecimiento se utilicen para la desinfección del agua, métodos que no incluyan cloro o sus derivados, la autoridad sanitaria determinará los casos en que adicionalmente deberá dosificarse cloro al agua distribuida, para mantener la concentración de cloro residual libre dentro del límite permisible establecido en la Tabla 3 de esta Norma.

4.4 Límites permisibles de características radiactivas.

El contenido de constituyentes radiactivos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 4. Los límites se expresan en Bq/l (Becquerel por litro).

TABLA 4

CARACTERISTICA	LÍMITE PERMISIBLE Bq/l
Radiactividad alfa global	0,56
Radiactividad beta global	1,85

5. Tratamientos para la potabilización del agua

La potabilización del agua proveniente de una fuente en particular, debe justificarse con estudios de calidad y pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio para asegurar su efectividad.

Se deben aplicar los tratamientos específicos siguientes o los que resulten de las pruebas de tratabilidad, cuando los contaminantes microbiológicos, las características físicas y los constituyentes químicos del agua listados a continuación, excedan los límites permisibles establecidos en el apartado 4 de esta Norma.

5.1 Contaminación microbiológica.

5.1.1 Bacterias, helmintos, protozoarios y virus. Deben desinfectarse con cloro, compuestos de cloro, yodo¹, ozono, luz ultravioleta; plata iónica o coloidal; coagulación-sedimentación-filtración; filtración en múltiples etapas.

5.2 Características físicas y organolépticas.

5.2.1 Color, olor, sabor y turbiedad.- Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado.

5.3 Constituyentes químicos.

5.3.1 Arsénico. Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; intercambio iónico u ósmosis inversa.

5.3.2 Aluminio, bario, cadmio, cianuros, cobre, cromo total y plomo. Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; intercambio iónico u ósmosis inversa.

5.3.3 Cloruros. Intercambio iónico, ósmosis inversa o evaporación.

5.3.4 Dureza. Ablandamiento químico o intercambio iónico.

5.3.5 Fenoles o compuestos fenólicos. Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado u oxidación con ozono.

¹ El cumplimiento del límite permisible de yodo residual libre, es de observancia obligatoria para los responsables de los sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados, en los que se utilice yodo como método de desinfección. La aplicación de yodo como alternativa de desinfección, deberá ser aprobada por la autoridad sanitaria correspondiente.

5.3.6 Fierro y/o manganeso. Oxidación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa.

5.3.7 Fluoruros. Alúmina activada, carbón de hueso u ósmosis inversa.

5.3.8 Hidrocarburos aromáticos. Oxidación-filtración o adsorción en carbón activado.

5.3.9 Mercurio. Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado granular u ósmosis inversa cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 microgramos/l. Adsorción en carbón activado en polvo cuando la fuente de abastecimiento contenga más de 10 microgramos/l.

5.3.10 Nitratos y nitritos. Intercambio iónico o coagulación-floculación-sedimentación-filtración.

5.3.11 Nitrógeno amoniacal. Coagulación-floculación-sedimentación-filtración, desgasificación o desorción en columna.

5.3.12 pH (potencial de hidrógeno). Neutralización.

5.3.13 Plaguicidas. Adsorción en carbón activado granular.

5.3.14 Sodio. Intercambio iónico.

5.3.15 Sólidos disueltos totales. Coagulación-floculación-sedimentación-filtración y/o intercambio iónico.

5.3.16 Sulfatos. Intercambio iónico u ósmosis inversa.

5.3.17 Sustancias activas al azul de metileno. Adsorción en carbón activado.

5.3.18 Trihalometanos. Oxidación con aireación u ozono y adsorción en carbón activado granular.

5.3.19 Zinc. Evaporación o intercambio iónico.

5.4 En el caso de contingencia, resultado de la presencia de sustancias especificadas o no especificadas en el apartado 4, las autoridades locales, la Comisión Nacional del Agua, los responsables del abastecimiento y los particulares, instituciones públicas o empresas privadas, involucrados en la contingencia, deben coordinarse con la autoridad sanitaria competente, para determinar las acciones que se deben realizar con relación al abastecimiento de agua a la población.

6. Métodos de prueba

La selección de los métodos de prueba para la determinación de los parámetros definidos en esta Norma, es responsabilidad de los organismos operadores de los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano, y serán aprobados por la Secretaría de Salud a través del área correspondiente. Deben establecerse en un Programa de Control de Calidad Analítica del Agua, y estar a disposición de la autoridad competente, cuando ésta lo solicite, para su evaluación correspondiente.

7. Concordancia con normas internacionales y nacionales

Esta Norma Oficial Mexicana no es equivalente a ninguna norma internacional.

8. Bibliografía

8.1 Directrices Canadienses para la Calidad del Agua Potable. 6ta. edición. Ministerio de Salud. 1996.

8.2 Desinfección del Agua. Oscar Cáceres López. Lima, Perú. Ministerio de Salud. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. 1990.

8.3 Guías para la Calidad del Agua Potable. Volumen 1. Recomendaciones. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. 1985.

8.4 Guías para la Calidad del Agua Potable. Volumen 1. Recomendaciones. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. 1995.

8.5 Guías para la Calidad del Agua Potable. Volumen 2. Criterios relativos a la salud y otra información de base. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. 1987.

8.6 Guía para la Redacción, Estructuración y Presentación de las Normas Oficiales Mexicanas. Proyecto de Revisión. SECOFI. 1992.

8.7 Guías para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. 1995.

- 8.8 Guide to Selection of Water Treatment Processes. Carl L. Hamann Jr., P.E. J. Brock Mc. Ewen, P.E. Anthony G. Meyers, P.E.
- 8.9 Ingeniería Ambiental. Revista No. 23. Año 7. 1994.
- 8.10 Ingeniería Sanitaria Aplicada a la Salud Pública. Francisco Unda Opazo. UTEHA 1969.
- 8.11 Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales. Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales. Gordon M. Fair, John C. Geyer, Daniel A. Okun. Limusa Wiley. 1971.
- 8.12 Instructivo para la Vigilancia y Certificación de la Calidad Sanitaria del Agua para Consumo Humano. Comisión Interna de Salud Ambiental y Ocupacional. Secretaría de Salud 1987.
- 8.13 Importancia para la Salud Pública de los Indicadores Bacterianos que se Encuentran en el Agua Potable. Martín J. Allen. Organización Panamericana de la Salud. OMS. Lima Perú, 1996.
- 8.14 Integrated Design of Water Treatment Facilities. Susumu Kawamura. John Willey and Sons, Inc. 1991.
- 8.15 Manual de Normas de Calidad para Agua Potable. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. 1982.
- 8.16 Manual de Normas Técnicas para el Proyecto de Plantas Potabilizadoras. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. 1979.
- 8.17 Manual de Técnicas Analíticas del Laboratorio Nacional de Salud Pública. Secretaría de Salud.
- 8.18 Método de Tecnología de Substrato Definida para el Conteo Simultáneo Rápido y Específico de los Coliformes Totales y la *Escherichia coli* del agua. Stephen C. Edberg, Martín J. Allen & Darrell B. Smith. Journal Association Official Analytical Chemists (Vol. 74 No. 3, 1991).
- 8.19 Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM- -SSA1- 1996 Vigilancia y evaluación del control de la calidad del agua para uso y consumo humano, distribuidas por sistemas de abastecimiento público.
- 8.20 Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios. **Diario Oficial de la Federación**. 18 de enero de 1988.
- 8.21 Regulaciones Nacionales Primarias del Agua Potable, Técnicas Analíticas: bacteria coliforme. Agencia de Protección Ambiental (USA). 1992.
- 8.22 Revision of the WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. IPS. International Programme on Chemical Safety. United Nations Environment Programme. International Labour Organization. World Health Organization. 1991.
- 8.23 WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. Volume 1. Recommendations. World Health Organization. 1992.
- 8.24 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th. Edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 1995.
- 8.25 WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. Volume 2. Health Criteria and Other Supporting Information. Chapter 1: Microbiological Aspects. United Nations Environment Programme. International Labour Organization. World Health Organization. 1992.

9. Observancia de la Norma

La vigilancia del cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Salud en coordinación con los gobiernos estatales, municipales, el Gobierno del Distrito Federal, las Comisiones Estatales de Agua y Saneamiento y la Comisión Nacional del Agua, en sus respectivos ámbitos de competencia.

10. Vigencia

La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor a los noventa días de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

Sufragio Efectivo. No Reelección.

México, D.F., a 20 de octubre de 2000.- El Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, **Javier Castellanos Coutiño**.- Rúbrica.



**FACULTAD DE INGENIERÍA-UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS INSTITUCIONALES

DIPLOMADO EN TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, MUNICIPALES, INDUSTRIALES Y DE REUSO.

**MOD. II PRINCIPIOS DE POTABILIZACIÓN DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Del 31 de agosto al 08 de septiembre de 2001

A N E X O S

M. en C. Constantino Gutiérrez Palacios
Comisión Nacional del Agua
Agosto – septiembre /2001

DIPLOMADO EN TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, MUNICIPALES, INDUSTRIALES Y DE REUSO.

MÓDULO II PRINCIPIOS DE POTABILIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

M. en C. Constantino Gutiérrez Palacios
Comisión Nacional del Agua
Agosto-septiembre de 2001

Tomado de:
Reuso de las Aguas Tratadas
Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil
de Isabel de Castilla Juárez Heredia,
dirigida por M. en C. Constantino Gutiérrez Palacios

De acuerdo con las NOM, se define como **agua residual**, "al líquido de composición variada proveniente del usos domésticos, de fraccionamientos, agropecuario, industrial, comercial, de servicios o de cualquier otro uso, que por este motivo haya sufrido degradación de su calidad original."

I.1.2 Tipos de aguas residuales

El agua residual, dependiendo de la actividad que las genere, poseerá características físicas, químicas y biológicas particulares, de acuerdo al tipo de contaminantes que se le hayan adicionado en su uso.

En términos generales, las aguas residuales provenientes de los núcleos urbanos pueden clasificarse en dos grandes grupos: 1) aguas residuales de origen urbano o municipal y 2) aguas residuales de origen industrial o de servicios. De acuerdo a las NOM, a continuación se establecen sus definiciones:

1) **Aguas residuales urbanas o municipales.** Se definen como "aquellas que resultan de la combinación de aguas residuales domésticas, comerciales y de servicios públicos o privados, así como industriales en el caso de que los procesos que las generen se localicen en centros de población y se viertan a un sistema de drenaje y alcantarillado operado por la autoridad competente."

2) **Aguas residuales industriales o de los servicios.** Se definen como "aquellas que provienen de los procesos de extracción, beneficio, transformación, generación de bienes de consumo o de sus actividades complementarias, y del propio tratamiento de aguas residuales".

I.1.3 Volumen de aguas residuales

Para cuantificar los caudales de agua residual, si no es posible obtenerlos a partir de aforos directos, suelen estimarse estos a partir de los caudales de agua de abastecimiento.

Debido a la utilidad de los datos de caudales de abastecimiento para estimar los caudales de aguas residuales, resulta de vital importancia el establecer la relación entre la cantidad de agua demandada (consumo) y la cantidad de agua realmente utilizada. La diferencia entre estos dos valores es un volumen de agua llamado comúnmente pérdidas, el cual no puede ser captado por los sistemas de alcantarillado por varias razones, entre las más importantes se tiene: pérdidas en la tubería de distribución, riego de jardines, agua consumida en algunos procesos industriales, infiltraciones, evaporaciones y en general, reusos múltiples. Sin embargo, dicho volumen también puede verse incrementado por diversas causas, tales como: infiltraciones de corrientes subterráneas, aportaciones de abastecimientos particulares de agua, etc. Por lo general, sin considerar la infiltración del agua subterránea, de un 60 a un 80% del consumo per cápita se transformará en agua residual.

Fluctuaciones en el gasto de aguas residuales

En la mayoría de las localidades, el comportamiento de los volúmenes de descarga a las alcantarillas es muy semejante, generalmente por debajo de los volúmenes de consumo de agua. A pesar de lo anterior, existen algunos otros casos en los que la industria de la zona utiliza grandes cantidades de agua cuyo origen es diferente al suministro público, lo cual provoca un aumento en el volumen de aguas residuales, lo que en algunos casos puede igualar, o en casos más críticos, superar el volumen de las aguas de abastecimiento público.

En términos generales, las variaciones en el caudal de aguas residuales de una comunidad fluctúa, al igual que el consumo de agua de abastecimiento, por los siguientes factores:

- 1) Dotación de agua potable;
- 2) Número de habitantes de la comunidad;
- 3) Estación del año, día de la semana, hora;
- 4) Características de la zona de estudio (climatológicas, topográficas, estratigráficas, etc.);
- 5) Actividades productivas preponderantes de la zona de estudio;
- 6) Pérdidas del sistema colector (riego de áreas verdes, infiltración, evaporación y reuso múltiple);
- 7) Sistema colector empleado (separado o divisor y combinado o unitario).

I.2 DISPOSICION DE LAS AGUAS RESIDUALES

I.2.1 Sistema de alcantarillado

Es pertinente establecer la siguiente definición: se define como **sistema de alcantarillado**, al conjunto de dispositivos, instalaciones y conductos, que tienen como propósito recolectar, conducir, alejar y descargar las aguas residuales de manera higiénica y segura. Dependiendo del sistema de recolección y conducción de las aguas residuales, se tienen dos tipos de sistemas de alcantarillado: sistema separado o divisor y sistema combinado o unitario.

a) Sistema separado o Divisor

Se denomina así, al sistema de alcantarillado donde se manejan las aguas residuales sanitarias y las aguas pluviales de manera separada, existen por lo tanto dos redes de alcantarillado diferente; una de ellas conducirá exclusivamente las aguas residuales sanitarias y la otra es exclusiva para las aguas residuales de lluvia (alcantarillado pluvial). Este sistema se recomienda en los siguientes casos:

- 1) Cuando el destino de disposición final de ambos sistemas sea diferente.

2) Cuando por factores económicos, convenga separar dichos volúmenes para su mejor manejo.

3) Cuando las áreas que hay que drenar sean reducidas y con pendiente suficiente, facilitándose por tanto el escurrimiento del agua de lluvia por la superficie de las calles hacia una corriente natural de drenaje.

4) Cuando se tenga una red de alcantarillado existente, con incapacidad de manejar ambos volúmenes, en cuyo caso se utilizará para disponer alguno de los dos volúmenes.

5) Cuando, por factores económicos, solamente pueda financiarse un sistema de alcantarillado. Siendo éste el caso, se procede a construir primeramente el sistema de disposición de las aguas residuales sanitarias.

b) Sistema combinado o Unitario

Se denomina así cuando se tiene un solo sistema de recolección, conducción y disposición de el volumen total de aguas residuales.

Este sistema es conveniente en los siguientes casos:

a) Cuando ambos volúmenes de aguas residuales tengan un mismo punto de disposición final.

b) Cuando se utiliza un sistema de tratamiento de las aguas residuales, las aguas pluviales ofrecen un buen sistema de dilución con miras a reducir la carga de contaminantes y mejorar su tratabilidad.

c) Cuando no exista suficiente espacio para construir ambas redes de alcantarillado.

d) Cuando sea factible instalar estructuras de regulación que permitan derivar parte del volumen captado en época de lluvias para descargarlas a una corriente de drenaje natural.

e) Cuando por razones económicas y no teniéndose restricciones sanitarias o ecológicas que prohíban el sistema unitario, se prefiere éste sobre el sistema divisor.

1.2.2 Disposición de las aguas residuales

La captación y concentración de las aguas residuales de una comunidad regularmente requieren de un adecuado tratamiento antes de su disposición, con el fin de proteger la salud y bienestar públicos.

Existen varios métodos de disposición de las aguas residuales tratadas, los cuales pueden ser: dilución en aguas receptoras, vertido en el terreno o en algunos casos en zonas desérticas mediante evaporación, así como por infiltración en el terreno y por último, puede darse un reuso de dichas aguas. Sin duda alguna, la eliminación por dilución (tras tratamiento preliminar o biológico) en grandes masas de agua, como lagos, ríos, estuarios o mares, es el método más utilizado. Se espera sin embargo que la historia dé un giro radical al respecto y se inicie una política tendiente a reusar dichos efluentes, tanto para resolver los problemas de escasez en aquellas aéreas donde sea escaso el recurso y/o no llueva lo suficiente, como para conservar las fuentes de agua existentes.

Es necesario recalcar que, independientemente del método utilizado de disposición de los efluentes, el agua deberá recibir un tratamiento previo a fin de adecuar su calidad para su destino final.

Los sistemas de **disposición al terreno** consisten primordialmente en esparcirlas sobre la superficie del terreno, distribuirlas bajo la superficie del terreno mediante tubos subterráneos, descargarlas en zanjas o descargarlas en el lecho de una corriente seca, donde pueda infiltrarse en el suelo o ser arrastrada a una masa de agua. Estos sistemas de disposición, se encuentran contenidos con mayor amplitud dentro del capítulo II.

Los sistemas de **disposición a un cuerpo de agua (dilución)**, consisten en descargar las aguas residuales o los efluentes procedentes de las instalaciones de tratamiento, en un cuerpo de agua. Este método de disposición, debe buscar en todo momento que no se produzca la contaminación del cuerpo receptor, ni afectar la salud pública. Existen entonces limitaciones respecto a las características de las aguas residuales que pueden arrojarse a los cuerpos de agua; de forma general, se dice que, cuando no hay riesgo para la salud pública, las aguas residuales deben recibir por lo menos, un tratamiento primario tendiente a reducir el contenido de sólidos en suspensión y la Demanda Bioquímica de Oxígeno. El control de la contaminación del agua, supone el desarrollo de métodos y medios para lograr y mantener la calidad del agua, lo que depende de los usos a los que se destine la misma. Por lo que, existen distintos criterios sobre la calidad del agua según que ésta sea para usos domésticos, industriales, agrícolas, recreo, estéticos, pesca, vida acuática o animal. Dentro del capítulo III que trata sobre la legislación nacional referente al uso del agua, se encuentran contenidos los criterios ecológicos de calidad de agua, emitidos por la Secretaría de Desarrollo Social.

La tesis fundamental que rige el tratamiento de las aguas residuales que serán diluidas en cuerpos receptores, se basa en darle al agua cierto nivel de tratamiento, de manera de aprovechar la capacidad de autopurificación de dichos cuerpos receptores. La autodepuración o purificación que tiene lugar en un cuerpo de agua depende, entre otros factores, de su caudal, de su contenido de oxígeno y de su capacidad de reoxigenación. Dicho concepto, es denominado capacidad asimiladora cuando se aplica a cuerpos receptores como son ríos, lagos y estuarios.

En todos los casos, las autoridades competentes se encargan de definir la capacidad asimiladora de cada uno de los cuerpos receptores y, consecuentemente la reglamentación de sus descargas: en cuyo caso, dicha capacidad se define en función de los usos a los que es sometida la corriente aguas abajo, de las necesidades del público y de la economía total del sistema del cuerpo receptor. Dentro del capítulo III, se encuentra contenida la legislación nacional más importante hasta estas fechas, referida a las descargas.

La **Reutilización del agua residual tratada** puede considerarse también como un método de disposición adecuado. El volumen de agua residual que pueda reutilizarse, dependerá entre otros factores de la disponibilidad y el costo del agua dulce, de los costos de transporte y tratamiento, de las normas sobre la calidad del agua y de su potencial de reutilización dentro de la zona de estudio.

La diferentes posibilidades de reuso de las aguas residuales tratadas, se pueden clasificar de acuerdo al uso a que se destinen en: 1) municipal; 2) industrial; 3) agrícola; 4) recreativo y 5) otros. Dentro del capítulo IV de este trabajo, se presentan los principales factores asociados a cada una de las alternativas de reuso.

I.3 TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL

Como se dijo con anterioridad, las aguas residuales deberán recibir un tratamiento previo antes de su disposición final. Es claro advertir que cada proyecto de disposición final requerirá un agua de calidad adecuada a las características particulares del sitio de disposición final.

Antes de dar paso al desarrollo de los distintos procesos de tratamiento, a continuación se presentan algunos conceptos afines al tratamiento de las aguas residuales.

I.3.1 Objetivos del Tratamiento de las Aguas Residuales

Los objetivos fundamentales del tratamiento de las aguas residuales son, por un lado proporcionar una reducción adecuada del nivel de contaminantes del agua, a fin de adecuar su calidad para su descarga al medio y por otro el de ser una estrategia para dar solución a dos problemas que van continuamente aparejados como son: la escasez de agua potable y la disposición de las aguas residuales, dándoles un reuso.

En el caso específico de nuestro país, se introdujo en varias legislaciones (Ley Federal de Aguas (Comisión Nacional del Agua), Ley del Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente (Secretaría de Desarrollo Social, SEDESOL) y las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) (Secretaría de Desarrollo Social, SEDESOL), el concepto de **condiciones particulares de descarga**. Dichas condiciones particulares de descarga se refieren a los niveles máximos permitidos de los parámetros físicos, químicos y biológicos en las descargas de aguas residuales, de manera que al momento de verificarse su vertido, se pueda garantizar con ello el bienestar de las poblaciones y el equilibrio ecológico.

I.3.2 Datos preliminares para tratabilidad

Es fundamental, antes de iniciar cualquier sistema de tratamiento, identificar las características del agua residual disponible, así como definir la calidad requerida por el agua tratada para su disposición final. Para ello deben realizarse pruebas experimentales y definirse los parámetros de control, entre otros aspectos, a fin de poder seleccionar la alternativa de tratamiento más adecuada.

Los primeros pasos para el desarrollo de un programa de control de contaminación lo constituyen el muestreo y el análisis de las muestras.

a) Muestreo

El muestreo es un proceso que consiste en la obtención de las muestras ya sean simples o compuestas, para que por medio de su análisis se puedan determinar las características del agua.

Dentro de las Normas Oficiales Mexicanas, se definen como **muestra simple** a "aquella tomada ininterrumpidamente durante el período necesario para completar un volumen proporcional al caudal, de manera que resulte representativo de la descarga de aguas residuales, medido éste en el sitio y en el momento del muestreo; y como **muestra compuesta** a "aquella que resulta de mezclar varias muestras simples".

El muestreo es la fase más importante para la determinación analítica de un agua, ya que de la técnica empleada dependerá en gran medida la confiabilidad y veracidad de los resultados analíticos obtenidos.

b) Análisis de aguas residuales

Dentro de esta etapa, se hace la selección de los parámetros a determinar y controlar dentro de un proyecto determinado, los cuales dependen tanto de las características y origen de las aguas residuales, como de los usos o disposición final que se pretenda proporcionar al agua.

Los análisis de las muestras de aguas residuales se basan en la identificación de sus parámetros físicos, químicos y biológicos. En la TABLA I-1¹ se citan los principales parámetros utilizados para caracterizar a las aguas residuales.

¹ METCALF-EDDY, Tratamiento, Evacuación y Reutilización de aguas residuales. Edit. Labor, 2a Edición. (Págs 61 y 62).

CARACTERISTICAS FISICAS, QUIMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL	
PARAMETRO	ORIGEN
CARACTERISTICAS FISICAS	
Color	Aguas residuales domésticas e industriales, desintegración natural de materiales orgánicos.
Olor	Agua residual en descomposición, vertidos industriales.
Sólidos	Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.
Temperatura	Aguas residuales domésticas e industriales.
CARACTERISTICAS QUIMICAS	
ORGANICOS	
Carbohidratos	Aguas residuales comerciales e industriales.
Grasas animales, aceite y grasa	Aguas residuales domésticas, comerciales e industriales.
Pesticidas	Residuos agrícolas.
Fenoles	Vertidos industriales.
Proteínas	Aguas residuales domésticas y comerciales.
Agentes tensoactivos	Aguas residuales domésticas e industriales.
Otros	Desintegración natural de materiales orgánicos.
INORGANICOS	
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración del agua subterránea.
Cloruros	Agua de suministro, aguas residuales domésticas, infiltración del agua subterránea, ablandadores de agua.
Metales pesados	Vertidos industriales.
Nitrógeno	Aguas residuales domésticas y residuos agrícolas.
pH	Vertidos industriales.
Fósforo	Aguas residuales domésticas e industriales, escorrentía residual.
Azufre	Aguas de suministro, aguas residuales, domésticas e industriales.
Compuestos Tóxicos	Vertidos industriales.
GASES	
Sulfuro de hidrógeno	Descomposición de aguas residuales domésticas.
Metano	Descomposición de aguas residuales domésticas.
Oxígeno	Agua de suministro, infiltración del agua superficial.
CARACTERISTICAS BIOLÓGICAS	
Animales	Cursos de agua y plantas de tratamiento.
Plantas	Cursos de agua y plantas de tratamiento.
Protistas	Aguas residuales domésticas, plantas de tratamiento.
Virus	Aguas residuales domésticas.

TABLA I-1

La TABLA I-2, presenta los parámetros de contaminación contenidos en las Normas Oficiales Mexicanas (SEDESOL)²; que fijan los criterios ecológicos que deberán cumplir las descargas de aguas residuales.

PARAMETROS DE CONTROL DE LAS AGUAS RESIDUALES, CONTENIDOS EN LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS (SEDESOL)		
PARAMETRO	PARAMETRO	PARAMETRO
Alcalinidad/acidez	Demanda química de oxígeno (DQO)	Nitrógeno
Aluminio	Derivados celulósicos	Nitrógeno total
Amonio	Detergentes	Oxígeno disuelto (OD)
Arsénico	Dibenzoantraceno	Potencial de Hidrógeno (unidades de pH)
Bario	Etilbenceno	Pireno
Benceno	Fenoantraceno	Plata
Benzoantraceno	Fenoles	Plomo
Benzofluoranteno	Fierro	Poliamidas
Benzopireno	Fosfato	Relación de adsorción de sodio (RAS)
Bifenilos policlorados	Fósforo	Resinas acrílicas
Cadmio	Fósforo total	Silicones
Cianuros	Flúor	Sólidos disueltos (SD)
Cobalto	Fluoranteno	Sólidos sedimentables (SS)
Cobre	Fluoreno	Sólidos suspendidos totales (SST)
Coliformes fecales	Fluoruros	Sulfatos
Color	Crasas y aceites	Sulfitos
Compuestos fenólicos	Indeno	Sulfuros
Compuestos nitrogenados	Manganeso	Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)
Conductividad eléctrica	Materia flotante	Temperatura
Cloro libre residual	Mercaptanos	Tolueno
Cloruros	Mercurio	Triclorometano
Cromo	Metales pesados	Turbiedad
Cromo hexavalente	Naftaleno	Vanadio
Cromo total	Nitrógeno amoniacal como NH ₄	Zinc
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅ total)	Níquel	

TABLA I-2

² DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION. Secretaria de Desarrollo Social. Normas Oficiales Mexicanas en materia de Protección Ambiental. 2a. Sección, lunes 18 de octubre de 1993.

En la TABLA I-3³ se tienen los parámetros de contaminación de mayor importancia en el tratamiento de las aguas residuales.

CONTAMINANTES DE IMPORTANCIA EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL	
CONTAMINANTES	RAZON DE LA IMPORTANCIA
Sólidos en suspensión	Los sólidos en suspensión pueden conducir al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático.
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales; la materia orgánica biodegradable se mide, la mayoría de las veces, en términos de DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y de DQO (demanda química de oxígeno). Si se descargan al entorno sin tratar, su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
Patógenos	Pueden transmitirse enfermedades contagiosas patógenas presentes en el agua residual.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden llevar el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también pueden conducir a la contaminación del agua subterránea.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a revestir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensoactivos, fenoles, y pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Los metales pesados son añadidos frecuentemente al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales y puede que deban ser eliminados si se va a reutilizar el agua residual.
Sólidos inorgánicos disueltos	Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como resultado del uso del agua y puede que deban eliminarse si se va a reutilizar el agua residual.

TABLA I-3

³ METCALF-EDDY Op. cit. (pág. 63)

UNIDADES PARA EXPRESAR LOS RESULTADOS ANALITICOS		
BASE	APLICACION	UNIDAD
UNIDADES FISICAS		
Densidad	$\frac{\text{Masa de disolución}}{\text{Unidad de volumen}}$	kg/m ³
% (en volumen)	$\frac{\text{Volumen de soluto} \times 100}{\text{Volumen total de disolución}}$	% (en volumen)
% (en masa)	$\frac{\text{Masa de soluto} \times 100}{\text{Masa total de soluto + disolvente}}$	% (en masa)
Relación de volumen	$\frac{\text{Mililitros}}{\text{litro}}$	ml/l
Masa por unidad de volumen	$\frac{\text{Miligramos}}{\text{litro de disolución}}$	mg/l
	$\frac{\text{Gramos}}{\text{metro cúbico de disolución}}$	g/m ³
Relación de masa	$\frac{\text{Miligramos}}{10^6 \text{ miligramos}}$	ppm
UNIDADES QUIMICAS		
Molaridad	$\frac{\text{Moles de soluto}}{1000 \text{ gramos de disolvente}}$	moles/kg.
Molalidad	$\frac{\text{Moles de soluto}}{\text{litro de disolución}}$	moles/l
Normalidad	$\frac{\text{Equivalentes de soluto}}{\text{litro de disolución}}$	equiv./l
	$\frac{\text{Milequivalentes de soluto}}{\text{litro de disolución}}$	meq/l

TABLA I-4

c) Expresión de los resultados analíticos

Una vez realizados los análisis del agua residual, los resultados se expresan por medio de unidades de medida físicas y químicas. Las unidades mas usuales se presentan en la TABLA I-4⁴.

Las concentraciones de los parámetros químicos son expresados generalmente en mg/l. Los gases disueltos son considerados como parámetros químicos, por lo que se miden en mg/l, no sucediendo lo mismo con los gases desprendidos como subproducto del tratamiento de las aguas residuales, los cuales suelen medirse en litros y/o metros cúbicos.

I.4 CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

En la TABLA I-5⁵, a manera de ejemplo aparecen las concentraciones típicas de los principales parámetros contenidos en las aguas residuales domésticas crudas.

⁴ METCALF-EDDY. op. cit. (Pág. 68)

⁵ METCALF-EDDY. Op. cit. (pág. 69)

COMPOSICION TIPICA DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS NO TRATADAS			
CONSTITUYENTE	CONCENTRACION		
	FUERTE	MEDIA	DEBIL
Sólidos totales:	1200	720	350
*Disueltos totales	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
*En suspensión totales	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sólidos sedimentables, ml/l	20	10	5
Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días y 20°C (DBO₅ a 20°C)	400	220	110
Carbono orgánico total (COT)	290	160	80
Demanda química de oxígeno (DQO)	1000	500	250
Nitrógeno (total como N):	85	40	20
*Orgánico	35	15	8
*Amoníaco libre	50	25	12
*Nitritos	0	0	0
*Nitratos	0	0	0
Fósforo (total como P):	15	8	4
*Orgánico	5	3	1
*Inorgánico	10	5	3
*Cloruros ^a	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO₃)^a	200	100	50
Grasa	150	100	50

a Los valores deberían incrementarse en la cantidad correspondiente contenida en el agua de suministro.

TABLA I-5

A continuación se analizarán las principales características de las aguas residuales contenidas en la TABLA I-1.

I.4.1 CARACTERISTICAS FISICAS

La característica física mas importante del agua residual, es su contenido total de sólidos; además se tienen otras características menos importantes como son temperatura, color y olor.

Sólidos totales

Los sólidos totales contenidos en un agua residual pueden tener distintos orígenes:

- del agua de abastecimiento,
- del uso industrial,
- del uso doméstico,
- por infiltración de pozos locales y aguas subterráneas a la red de alcantarillado.

De forma analítica, cuando un agua residual es sometida a temperaturas entre 103-105 °C, la materia remanente que resulta de la evaporación es a lo que se le denominan sólidos totales. La materia que tiene una presión de vapor menor a dicha temperatura se elimina durante la evaporación, por lo que no se considera como sólido.

Ahora bien, los sólidos totales o residuo de evaporación, se clasifican en sólidos suspendidos o sólidos filtrables, y sólidos no filtrables, los cuales se clasifican al hacer pasar un volumen de agua por un filtro.

Los sólidos suspendidos se clasifican nuevamente en sólidos sedimentables y sólidos no sedimentables, los cuales se diferencian al fijar un período de sedimentación de 60 minutos.

Los sólidos filtrables se dividen en sólidos coloidales y sólidos disueltos. Las partículas coloidales poseen un diámetro que oscila entre $10^{-3}\mu\text{m}$. Los sólidos disueltos son moléculas orgánicas e iones que se encuentran presentes en disolución en las aguas y que no pueden ser eliminadas por sedimentación, sino que se requiere una coagulación u oxidación biológica seguida de sedimentación para su eliminación.

A su vez, cada clase de sólidos presentada anteriormente, puede clasificarse en sólidos volátiles y sólidos fijos, los cuales se diferencian en base a su volatilidad a 600°C. A dicha temperatura la fracción orgánica se oxidará y será expulsada como gas (sólidos volátiles), permaneciendo la fracción orgánica (sólidos fijos) como ceniza.

Temperatura

La temperatura del agua residual, por lo general es más alta que la de suministro, debido a la adición de agua caliente proveniente de las descargas tanto domésticas como industriales.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas y velocidad de reacción, así como también en los usos posteriores que pretendan darse al agua.

Color

En términos generales puede decirse que por la impresión visual del agua residual, se puede establecer si se trata de un agua residual reciente, ya que posea un color grisáceo o bien añeja, cuando posea un color negro. Además, algunas aguas residuales de tipo industrial añaden ciertas coloraciones al agua.

Olor

Los olores de las aguas residuales son debidos a los gases producto de la descomposición de la materia orgánica o bien producto de algunos compuestos industriales olorosos o capaces de producir olores en el proceso de tratamiento.

El agua residual reciente tiene un olor peculiar desagradable, en cambio el agua residual en fase séptica tiene un olor mas fuerte y desagradable, caracterizándose principalmente el del sulfato de hidrógeno producto de la reducción de sulfatos a sulfitos a cargo de microorganismos anaerobios.

I.4.2 CARACTERISTICAS QUIMICAS

Materia orgánica

La materia orgánica contenida en un agua, procede de los reinos animal y vegetal y de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos se encuentran formados principalmente por la combinación de carbono, hidrógeno y oxígeno, conjuntamente con nitrógeno, en algunos casos; aunque pueden tenerse presentes también otros elementos importantes, tales como azufre, fósforo y hierro.

Los principales grupos de sustancias orgánicas halladas en el agua residual son las proteínas (40-60%), carbohidratos (25-50%) y grasas y aceites (10%). La urea, principal constituyente de la orina, es otro importante compuesto orgánico del agua residual. El agua residual contiene además pequeñas cantidades de un gran número de diferentes moléculas orgánicas sintéticas cuya estructura varía desde muy simple hasta sumamente compleja, como por ejemplo: agentes tensoactivos (detergentes), fenoles y pesticidas. El número de dichos compuestos aumenta año tras año al irse incrementando la síntesis de moléculas orgánicas. La presencia de dichas sustancias en las aguas residuales, ha dificultado el tratamiento de las aguas residuales en los últimos años, ya que muchas de ellas no pueden descomponerse biológicamente, o bien, lo hacen muy lentamente.

Proteínas. Son los principales componentes de los organismos animales y en menor grado se encuentran presentes en los organismos vegetales.

Todas las proteínas contienen carbono, hidrógeno, oxígeno y como característica principal, contiene una proporción bastante elevada y constante de nitrógeno (alrededor del 16 %). En algunos casos, también se tienen presentes el azufre, fósforo y hierro.

En las aguas residuales, la urea y las proteínas son las fuentes principales de nitrógeno. Ahora bien, si se tienen presentes grandes cantidades de proteínas en un agua residual, se producen olores extremadamente desagradables al descomponerse.

Carbohidratos. Los carbohidratos se encuentran formados por carbono, hidrógeno y oxígeno: incluyen azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera. Todos ellos se encuentran presentes en las aguas residuales.

La celulosa es el carbohidrato contenido en el agua residual más importante, debido a que se encuentra en mayores proporciones y posee una amplia resistencia a su descomposición.

Grasas animales, aceites y grasa. Dentro de las aguas residuales, el término grasa incluye las grasas animales, aceites y ceras.

Las grasas animales y aceites son compuestos (ésteres) de alcohol o glicérico (glicerina) y ácidos grasos. Los ésteres de ácidos grasos que son líquidos a las temperaturas ordinarias se llaman aceites y los que son sólidos se llaman grasas. Son químicamente muy semejantes, siendo sus componentes carbono, hidrógeno y oxígeno en diversas proporciones.

Las grasas son uno de los compuestos orgánicos más estables y no puede ser descompuesto fácilmente por las bacterias.

El queroseno, los aceites lubricantes y los procedentes de materiales bituminosos usados en la construcción de carreteras, son derivados del petróleo y alquitrán, y contienen principalmente, carbono e hidrógeno. Estos aceites llegan a las alcantarillas en grandes volúmenes procedentes de tiendas, garajes y calles.

El contenido de grasa del agua residual puede producir muchos problemas tanto en las alcantarillas como en las plantas de tratamiento. Es necesario eliminar la grasa contenida en el agua residual antes de su vertido, porque de lo contrario, puede interferir con la vida biológica en las aguas y crear películas y materia en flotación imperceptibles.

Agentes tensoactivos. Los agentes tensoactivos son grandes moléculas orgánicas, ligeramente solubles en agua que causan espumas en el agua.

Los agentes tensoactivos tienden a acumularse en la interfase aire-agua, por lo cual, durante el proceso de aireación en el tratamiento del agua residual, estos compuestos se acumulan en la superficie de las burbujas de aire, causando con ello una gran cantidad de espuma.

Antiguamente, el tipo de agente tensoactivo presente en los detergentes sintéticos, llamados sulfonato de alquilbenceno (SAB), ofrecía muchas dificultades para su eliminación por su alta resistencia a la descomposición por medios biológicos. Actualmente, el SAB es sustituido en los detergentes por sulfonatos de alquilo lineales (SAL) que son biodegradables, con lo que se logró reducir en gran medida el contenido de espuma en las plantas de tratamiento.

Fenoles. Los fenoles presentes en las aguas residuales, tienen su origen en los desechos industriales.

En la potabilización del agua, los fenoles causan problemas de sabor, especialmente cuando ésta está clorada. En el tratamiento del agua residual, los fenoles pueden ser biológicamente oxidados en concentraciones menores de 500 mg/l.

Pesticidas y productos químicos agrícolas. Los compuestos orgánicos traza, tales como pesticidas, herbicidas y otros productos químicos usados en la agricultura, resultan ser peligrosos contaminantes de las aguas, ya que son tóxicos para gran número de formas de vida. Estos productos químicos suelen incorporarse al agua residual como resultado de la escorrentía de parques, campos agrícolas y tierras abonadas. Las concentraciones de estos productos químicos puede provocar desde la contaminación de la carne de los peces hasta su muerte, como también el empeoramiento de la calidad del agua de suministro.

Medida del contenido orgánico

Los métodos de laboratorio más utilizados para la determinación del contenido orgánico de las aguas residuales son: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), carbono orgánico total (COT), demanda total de oxígeno (DTO). Como un análisis complementario a los expresados anteriormente, se tiene la demanda teórica de oxígeno (DTeO), la cual se determina con las fórmulas químicas de la materia orgánica.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). La DBO se define como la medida aproximada de oxígeno disuelto que requieren las bacterias para degradar la materia orgánica presente en el agua, bajo condiciones aerobias.

La determinación de la DBO consiste en la medida aproximada del oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica presente.

Dentro del análisis tanto de las aguas residuales como superficiales, el parámetro de contaminación orgánica más comúnmente utilizado es la DBO a los 5 días (DBO₅). Específicamente, dentro del análisis de las aguas residuales, los resultados de la DBO son muy importantes, ya que son utilizados para: 1) determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar la materia orgánica presente; 2) determinar el tamaño de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales y 3) medir la eficiencia de algunos procesos de tratamiento.

Demanda Química de Oxígeno (DQO). Se define como la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar los compuestos orgánicos por vía química.

Al igual que la DBO, el ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. Dentro del análisis de las aguas residuales, este ensayo se emplea igualmente para medir la materia orgánica en aguas de origen industrial o municipal que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica.

En muchos tipos de aguas residuales es posible correlacionar la DQO con la DBO, lo cual resulta útil ya que la DQO puede determinarse en 3 horas, comparado con los 5 días que requiere la DBO.

Carbono Orgánico Total (COT). Utilizado para medir el contenido de materia orgánica cuando las concentraciones de la misma son pequeñas. Debido a que el ensayo se realiza en muy poco tiempo, su uso se ha extendido muy rápidamente. Sin embargo, como el ensayo se basa en la oxidación de la materia orgánica, existen algunos compuestos orgánicos que no se oxidan, por lo que el resultado del COT resultará ligeramente inferior al valor real.

Demanda Total de Oxígeno (DTO). En este ensayo las sustancias orgánicas y, en menor escala, las inorgánicas se transforman en productos finales estables dentro de una cámara de combustión catalizada con platino. La DTO se determina observando el contenido de oxígeno presente en el gas que transporta el nitrógeno. Este ensayo consume muy poco tiempo y sus resultados pueden ser correlacionados con la DQO.

Demanda Teórica de Oxígeno (DTeO). Ensayo de laboratorio por medio del cual se puede determinar el contenido de materia orgánica al evaluar la cantidad de oxígeno necesaria para la descomposición de la materia orgánica si es que se conoce la fórmula química de la materia orgánica.

Materia inorgánica

Las concentraciones de los distintos constituyentes inorgánicos pueden afectar de manera significativa los usos del agua, a pesar de lo cual, las aguas residuales, a excepción de algunos residuos industriales, son raramente tratados para la eliminación de los constituyentes inorgánicos añadidos en su ciclo de utilización. Debido a lo anterior, se presenta a continuación un análisis de la naturaleza de algunos de los componentes inorgánicos presentes en las aguas residuales.

Potencial Hidrógeno (pH). La concentración del ion hidrógeno o mejor conocido con el término de potencial de hidrógeno (pH), es un importante parámetro de calidad tanto de las aguas naturales como de las residuales, ya que de su concentración dependerá la existencia de la mayoría de la vida biológica.

Ahora bien, para el tratamiento de las aguas residuales es necesario que la concentración de pH se encuentre en el intervalo idóneo de manera que permita el desarrollo de la vida biológica, de lo contrario, el agua residual será difícil de tratar por medios biológicos y si la concentración no se modifica antes de la evacuación, el efluente puede alterar la concentración de las aguas naturales.

Cloruros. Los cloruros que se encuentran en el agua tienen distintos orígenes, los cuales pueden ser:

- Disolución de suelos y rocas que han estado en contacto con el agua,
- En regiones costeras de la intrusión de aguas saladas,
- Descargas de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales en las aguas superficiales,
- En lugares donde se utilizan ablandadores para disminuir la dureza del agua, éstos añaden grandes cantidades de cloruros al agua.

Alcalinidad. La alcalinidad es producida por hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos tales como calcio, magnesio, sodio, potasio y amoníaco. Aunque los más frecuentes son los bicarbonatos magnésicos y de calcio.

Un agua residual generalmente es alcalina, resultando importante su concentración cuando el agua tenga que recibir algún tratamiento químico o bien cuando se pretenda eliminar el amoníaco mediante el arrastre por aire.

Nitrógeno. Tanto el nitrógeno como el fósforo son los principales elementos nutritivos para el crecimiento biológico y por tanto son conocidos como elementos nutrientes o bioestimulantes.

Es de vital importancia el evaluar la concentración de nitrógeno dentro de las aguas residuales, para poder valorar su tratabilidad mediante procesos biológicos, debido a que el nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de las proteínas.

El nitrógeno se encuentra presente en el agua de distintas formas, así tenemos que el nitrógeno presente en un agua residual reciente se encuentra en forma de urea y materia protéica, luego éste se transforma en amoníaco por medio de la acción de las bacterias. Ahora bien, dentro de un ambiente aerobio, las bacterias oxidan el nitrógeno del amoníaco para formar nitritos y nitratos.

Por lo anterior, la forma en que el nitrógeno se encuentra presente en un agua residual es continuamente utilizada para definir la edad del agua residual, así por ejemplo, si en un agua residual predomina el nitrógeno en forma de nitrato, esto indica que el agua residual se ha estabilizado con respecto a la demanda de oxígeno.

El nitrógeno en forma de nitratos es utilizado por las algas y otras plantas para formar proteínas y a su vez pueden ser utilizadas por animales para formar proteínas animales. Por tal razón se hará necesario eliminar o reducir los nitratos para evitar (cuando el caso así lo exija), dichos crecimientos.

Fósforo. En el agua el fósforo puede encontrarse en distintas formas, siendo las mas frecuentes los ortofosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicos.

Como se dijo con anterioridad, el fósforo es esencial para el crecimiento de las algas y otros organismos biológicos. Debido a los crecimientos explosivos nocivos que tienen lugar en las aguas superficiales, es necesario controlar la cantidad de compuestos de fósforo presentes en las aguas superficiales provenientes tanto de las descargas de agua residual ya sea de origen doméstico como industrial y de las escorrentías naturales.

Azufre. El azufre se encuentra presente de forma natural en la mayoría de los suministros de agua o bien en el agua residual, en forma de ion sulfato.

Los sulfatos son reducidos químicamente a sulfuros y a sulfuro de hidrógeno (SH_2) por bacterias en condiciones anaerobias; éste último a su vez puede ser oxidado biológicamente para formar ácido sulfúrico.

Es importante controlar las concentraciones del azufre en sus distintas formas, ya que el ácido sulfúrico en concentraciones altas puede corroer las tuberías del alcantarillado (efecto corona). Ahora bien, los sulfatos son reducidos a sulfuros en los digestores de lodos y si no hay un control en su concentración, esto puede alterar el funcionamiento de los procesos biológicos.

Compuestos tóxicos. Dentro de estos tenemos al cobre, plomo, plata, cromo, arsénico y boro, los cuales son tóxicos a los microorganismos en distinta medida, por lo cual, deben ser cuantificados cuando se pretenda emplear algún proceso biológico para su tratamiento, ya que la presencia de éstos iones pudiera causar trastornos a las plantas de tratamiento, hasta el extremo de causar la muerte de los microorganismos responsables de los procesos.

Metales pesados. Son importantes constituyentes de muchas aguas, los principales son el níquel (Ni), manganeso (Mn), plomo (Pb), cromo (Cr), cadmio (Cd), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y mercurio (Hg). Debe siempre tenerse un control de su concentración, ya que su presencia en concentraciones adecuadas es indispensable para el desarrollo de la vida biológica, de lo contrario se estaría limitando su desarrollo; en cambio, si se encuentran en concentraciones excesivas, interferirán con muchos usos provechosos del agua, dada su toxicidad.

Gases

Los gases mas frecuentes encontrados en el agua residual son nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2), anhídrido carbónico (CO_2), sulfuro de hidrógeno (SH_2), amoníaco (NH_3), y metano (CH_4). Los tres primeros se encuentran en aguas que están en contacto con el aire, procediendo consecuentemente de la interfase agua-aire, y los tres últimos son exclusivos de las aguas residuales, ya que proceden de la descomposición de la materia orgánica contenida en el agua residual.

Oxígeno Disuelto (O.D.) El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos, así como de otras formas de vida aérobica; debido a lo cual su presencia en el agua residual es deseable, de manera que la descomposición de la materia orgánica se de en condiciones aerobias y se eviten los malos olores que se generan cuando la materia orgánica es degradada en condiciones anaerobias.

Sulfuro de hidrógeno. El sulfuro de hidrógeno es un gas incoloro, inflamable y tiene un olor característico de huevo podrido; su presencia en las aguas residuales tiene su origen en la descomposición de la materia orgánica que contiene azufre o bien por la reducción de sulfitos y sulfatos minerales en condiciones casi facultativas (ya que no se forma en presencia de un contenido abundante de oxígeno).

Cuando este gas se encuentra presente ya sea en aguas residuales como en lodos, se combina con el hierro presente para formar sulfuro ferroso (SFe) el cual le adiciona al agua una coloración negruzca.

Metano. El metano es un hidrocarburo combustible, incoloro e inodoro y resulta ser el principal subproducto de la descomposición de la materia orgánica contenida en las aguas residuales bajo condiciones anaerobias (ya que incluso pequeñas cantidades de oxígeno resultan ser tóxicas para los organismos responsables de la producción del metano). Sin embargo, suele suceder que se de la producción de metano como consecuencia de la descomposición de la materia orgánica acumulada en el fondo de algún depósito de aguas residuales.

1.4.3 CARACTERISTICAS BIOLOGICAS

Dentro de esta sección se darán a conocer los principales grupos de microorganismos contenidos tanto en las aguas naturales como en las residuales, así como aquellos que intervienen en los procesos de tratamiento biológico. Se identificarán también aquellos organismos utilizados como indicadores de polución de las aguas.

Microorganismos

Los microorganismos que se encuentran en las aguas superficiales y residuales se clasifican en cuatro grupos principales: protistas, virus, plantas y animales.

Protistas. Dentro de éstos se tienen a las bacterias, algas y protozoos. Sin embargo, la importancia del estudio de las bacterias radica en la responsabilidad de las mismas en la descomposición y estabilización de la materia orgánica contenida tanto en las aguas residuales como en las naturales. Ahora bien, las bacterias coliformes son utilizadas como un indicador de polución producto de vertidos de origen humano.

Las algas pueden presentar un serio inconveniente en las aguas superficiales, ya que cuando las condiciones son favorables, pueden reproducirse rápidamente y cubrir ríos, lagos y embalses con grandes colonias flotantes, fenómeno que se conoce como eutroficación. Puesto que el efluente de las plantas de tratamiento de agua residual es, por lo general, rico en nutrientes biológicos, la descarga del efluente en lagos, motiva su enriquecimiento y aumenta la tasa de eutroficación. Los mismos efectos pueden darse en los ríos.

La presencia de algas afecta el valor del agua de suministro, ya que puede causar problemas de olor y sabor. Las algas pueden igualmente alterar el valor de las aguas superficiales por el crecimiento de ciertas especies de peces y de otro tipo de vida acuática.

Sin embargo, se ha planteado la solución para evitar el crecimiento de algas y otras plantas acuáticas, la cual se encuentra dada por la eliminación del carbono, de las distintas formas de nitrógeno y fósforo, así como también la eliminación de elementos tales como el hierro y el cobalto.

Los protozoos mas importantes de considerar para el tratamiento de las aguas residuales son las amebas, los flagelados y los ciliados libres y fijos. Estos protistas son básicos tanto para el funcionamiento de los procesos biológicos de tratamiento, como en el proceso de autopurificación de los ríos ya que mantienen el equilibrio natural entre los distintos grupos de microorganismos.

Virus. El contenido de estos microorganismos en una fuente de abastecimiento de agua a alguna población, representa un gran riesgo a la salud pública, ya que pueden llegar a provocar serios problemas epidémicos a las poblaciones a las cuales abastece.

Plantas y animales. El análisis del contenido de estos organismos en un agua es útil en la valoración tanto de las aguas naturales como de las aguas residuales; así por ejemplo si el análisis se aplica a aguas naturales, servirá para valorar el estado de pureza y contenido de sustancias y materia que permitan o inhiban el desarrollo de los mismos; en las aguas residuales, el análisis de contenido de estos organismos se usa tanto para evaluar la toxicidad de las aguas residuales como para evaluar la efectividad de la vida biológica en los procesos secundarios de tratamiento utilizados para destruir los residuos orgánicos.

Organismos patógenos

Los organismos patógenos encontrados en el agua residual, tienen su origen en los desechos excretados por humanos que están infectados o que simplemente son portadores de alguna enfermedad. Los organismos patógenos bacterianos, son los más numerosamente contenidos en las aguas residuales, dichos organismos son altamente infecciosos y son los responsables de epidemias del aparato gastrointestinal, tales como fiebre tifoidea o paratifoidea, disentería, diarrea y cólera.

Dentro de un agua residual existe gran variedad de organismos patógenos; la identificación de los mismos además de difícil, requiere un consumo extremado de tiempo, por lo cual, el grupo de organismos coliformes, se utiliza actualmente como indicador de la presencia de heces fecales y por lo tanto de organismos patógenos.

Organismos coliformes

Los organismos coliformes no son dañinos al hombre y, de hecho, son útiles para destruir la materia orgánica en los procesos biológicos de tratamiento de las aguas residuales, sin embargo, como se mencionó con anterioridad, dado que se encuentran en mayor número y su determinación es sencilla, se utilizan como indicadores de polución fecal. Su presencia es interpretada como un indicador de que los organismos patógenos pueden estar presentes y su ausencia indica que el agua se halla exenta de organismos productores de enfermedades.

CAPITULO II

ASPECTOS BASICOS DEL TRATAMIENTO

II.1 CLASIFICACION DE LOS METODOS DE TRATAMIENTO

Para efecto del presente trabajo, es necesario establecer las siguientes definiciones:

Contaminación, se define así a la acumulación de sustancias, elementos o efectos en el medio ambiente, produciendo efectos nocivos en los organismos que conforman los ecosistemas.

Contaminación del agua, se refiere al efecto de alteración de la composición natural del agua, debido a la acumulación de sustancias o elementos, de tal manera que ya no reúne las condiciones de calidad adecuadas a uno u otro o al conjunto de usos que se ubiese destinado en su estado natural.

Agua residual tratada¹, es el líquido de composición variada proveniente del agua residual y resultante de un conjunto de operaciones y procesos de tratamiento, ya sea primario, secundario o terciario.

Planta de tratamiento¹. Instalación industrial compuesta de un conjunto de unidades de proceso que depuran las aguas residuales, a fin de reutilizarse de conformidad con las Normas de Salud y Ecológicas establecidas.

¹ Reglamento del Servicio de Agua y Drenaje para el D.F. (Depto. del D.F.)

Contaminantes del agua. Los contaminantes del agua son aquellas sustancias o materiales que se encuentran contenidos en el agua y que por tal motivo modifican sus propiedades ya sea físicas, químicas o biológicas, invalidándola para su aprovechamiento posterior, por representar un recurso que involucra riesgos tanto sanitarios como ambientales.

Los contaminantes presentes en el agua residual pueden ser eliminados por medios físicos, químicos y biológicos. Los métodos individuales de tratamiento se clasifican en **Operaciones Físicas Unitarias, Procesos químicos Unitarios y Procesos Biológicos Unitarios.** A pesar de que dichas operaciones y procesos se utilizan combinados en los sistemas de tratamiento, resulta ventajoso estudiar las bases científicas de cada uno de ellos por separado, ya que los principios básicos no varían. Para los fines de este trabajo, es necesario establecer los siguientes conceptos:

Operaciones Físicas Unitarias. Se denominan así, a los métodos de tratamiento en los que predomina la aplicación de los fenómenos físicos.

Procesos Químicos Unitarios. Los métodos de tratamiento en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes es acelerada por la adición de productos químicos y por reacciones químicas entre algunos componentes específicos del agua, se conocen por procesos químicos unitarios.

Procesos Biológicos Unitarios. Se conocen como procesos biológicos unitarios, aquellos métodos de tratamiento en los cuales se consigue la eliminación de los contaminantes mediante la acción biológica. Generalmente este tipo de procesos es utilizado para eliminar las sustancias orgánicas biodegradables (coloidales o disueltas) presentes en el agua residual, aunque también suelen utilizarse para la eliminación del nitrógeno. El mecanismo mediante el cual se elimina la materia orgánica biodegradable es mediante su conversión en gases que escapan a la atmósfera y en tejido celular que puede ser fácilmente eliminado mediante sedimentación.

La aplicación de las operaciones y procesos unitarios se agrupan para constituir diferentes sistemas de tratamiento. Dichos sistemas tendrán distintos alcances de tratamiento, también denominado nivel de tratamiento, dependiendo del tipo de operaciones y procesos que involucre.

El nivel de tratamiento requerido en un proyecto específico de aguas residuales, dependerá de las características iniciales del agua a tratar, así como de la calidad requerida por el efluente tratado.

Los niveles de tratamiento se clasifican en: primario, secundario y terciario (avanzado). Se denomina **nivel de tratamiento primario** a aquel sistema de tratamiento donde predominan las operaciones físicas unitarias y cuyo objetivo primordial es la remoción de los sólidos sedimentables y flotantes.

Un nivel de tratamiento secundario es aquel donde se tienen presentes los tres tipos de operaciones y procesos unitarios, predominando la acción de los procesos biológicos; tienen como objetivo primordial la eliminación de la mayoría de la materia orgánica.

Dentro de un nivel de tratamiento terciario, al igual que en el tratamiento secundario, se tienen presentes los tres tipos de operaciones y procesos unitarios, predominando en este caso la acción de los procesos químicos. Dentro de un tratamiento terciario se eliminan componentes tales como nitrógeno y fósforo, que no pueden ser eliminados totalmente en el tratamiento secundario.

Los contaminantes de mayor interés presentes en el agua residual, así como las operaciones y procesos aplicables para la eliminación de esos contaminantes se muestran en la tabla II-1². Dentro de la figura 1³ se presenta la ubicación de las operaciones y procesos dentro de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Como parte de el tratamiento de las aguas residuales y de igual importancia, si no es que mayor todavía, son las operaciones y procesos unitarios o sistemas utilizados para el tratamiento de los lodos, producto del tratamiento de la fracción líquida del agua residual. Los principales métodos usados para el tratamiento de los lodos se muestran en la tabla II-2⁴. En las figuras 2A y 2B⁵ se presenta de manera general la secuencia y ubicación de las operaciones y procesos aplicables al tratamiento y disposición del lodo.

² METCALF-EDDY. Tratamiento, Evacuación y Reutilización de las aguas residuales. Edit. Labor. 2a. Edición. (pág. 135)

³ METCALF-EDDY. Op. Cit. (Pág. 286)

⁴ METCALF-EDDY. Op. cit. (pág. 136)

⁵ METCALF-EDDY. Op. Cit. (Págs. 632 y 633)

Un **nivel de tratamiento secundario** es aquel donde se tienen presentes los tres tipos de operaciones y procesos unitarios, predominando la acción de los procesos biológicos; tienen como objetivo primordial la eliminación de la mayoría de la materia orgánica.

Dentro de un **nivel de tratamiento terciario**, al igual que en el tratamiento secundario, se tienen presentes los tres tipos de operaciones y procesos unitarios, predominando en este caso la acción de los procesos químicos. Dentro de un tratamiento terciario se eliminan componentes tales como nitrógeno y fósforo, que no pueden ser eliminados totalmente en el tratamiento secundario.

Los contaminantes de mayor interés presentes en el agua residual, así como las operaciones y procesos aplicables para la eliminación de esos contaminantes se muestran en la tabla II-1². Dentro de la figura 1³ se presenta la ubicación de las operaciones y procesos dentro de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Como parte de el tratamiento de las aguas residuales y de igual importancia, si no es que mayor todavía, son las operaciones y procesos unitarios o sistemas utilizados para el tratamiento de los lodos, producto del tratamiento de la fracción líquida del agua residual. Los principales métodos usados para el tratamiento de los lodos se muestran en la tabla II-2⁴. En las figuras 2A y 2B⁵ se presenta de manera general la secuencia y ubicación de las operaciones y procesos aplicables al tratamiento y disposición del lodo.

² METCALF-EDDY. Tratamiento, Evacuación y Reutilización de las aguas residuales. Edit. Labor. 2a. Edición. (pág. 135)

³ METCALF-EDDY. Op. Cit. (Pág. 286)

⁴ METCALF-EDDY. Op. cit. (pág. 136)

⁵ METCALF-EDDY Op. Cit. (Págs. 632 y 633)

OPERACIONES, PROCESOS UNITARIOS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO UTILIZADOS PARA ELIMINAR LA MAYORIA DE CONTAMINANTES PRESENTES EN EL AGUA RESIDUAL	
CONTAMINANTE	OPERACION UNITARIA, PROCESO UNITARIO O SISTEMA DE TRATAMIENTO
Sólidos en suspensión	Sedimentación Desbaste y aireación Filtración Flotación Adición de polímeros o reactivos químicos Coagulación / sedimentación Sistemas de tratamiento por disposición al terreno
Materia orgánica biodegradable	Lodos activados Película fija: filtros percoladores Película fija: discos biológicos Lagunas Filtración intermitente en arena Sistemas de tratamiento por disposición al terreno Sistemas fisicoquímicos
Patógenos	Cloración Hipocloración Ozonización Sistemas de tratamiento por disposición al terreno
Nutrientes: Nitrógeno	Sistema de lagunas Sistemas de cultivo-suspendido con nitrificación y desnitrificación Sistemas de película fija con nitrificación y desnitrificación Arrastre de amoníaco (stripping) Intercambio iónico Cloración en el punto crítico Sistemas de tratamiento por disposición al terreno
Fósforo	Adición de sales metálicas Coagulación y sedimentación con cal Eliminación biológica y química del fósforo Sistemas de tratamiento por disposición al terreno
Materia orgánica refractaria	Adsorción en carbón Ozonización Sistemas de tratamiento por disposición al terreno
Metales pesados	Precipitación química Intercambio iónico Sistemas de tratamiento por disposición al terreno
Sólidos inorgánicos disueltos	Intercambio iónico Osmosis inversa Electrodialisis

TABLA II-1

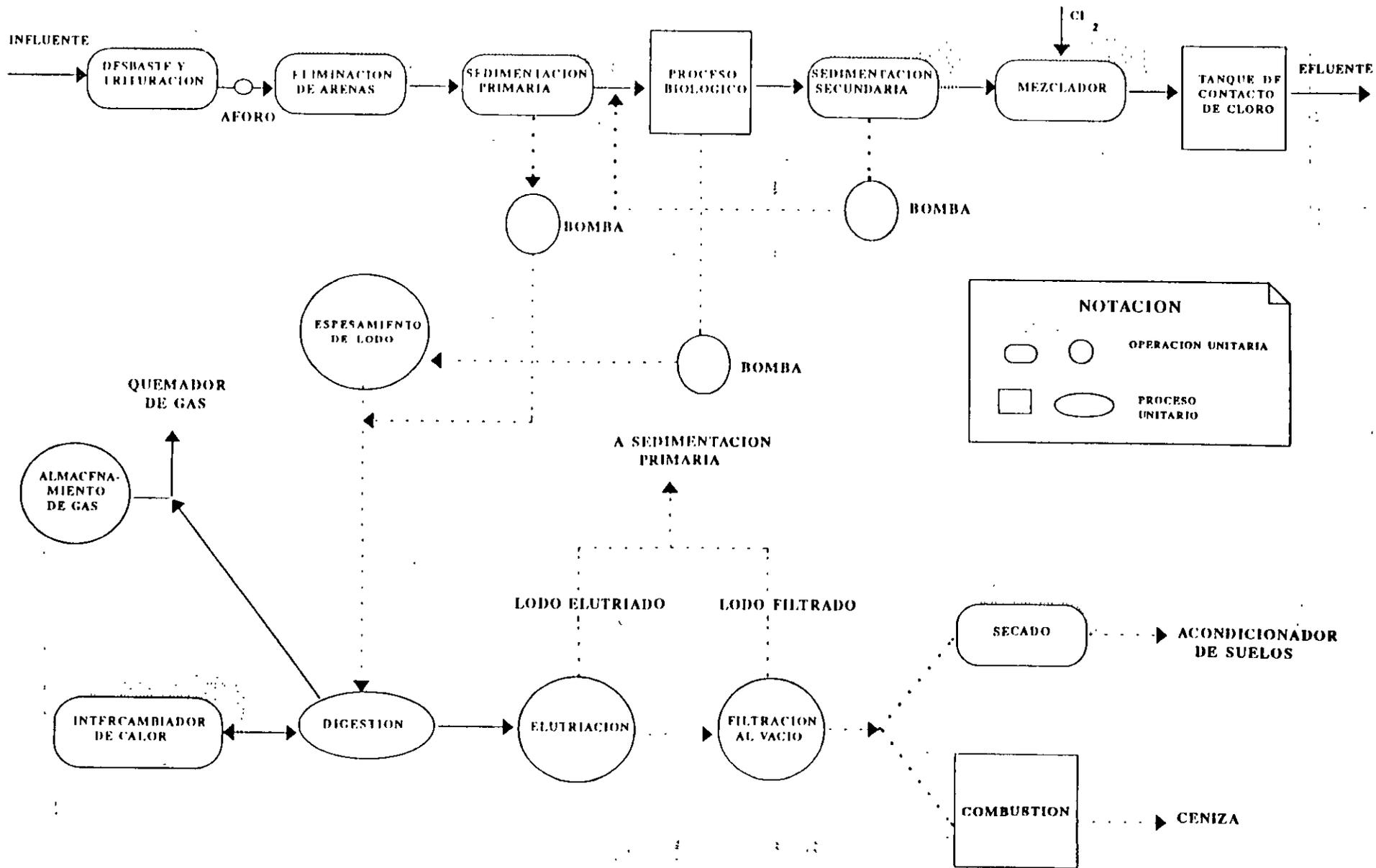


Fig.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

METODOS DE TRATAMIENTO DE DISPOSICION DEL LODO	
FUNCION DEL PROCESO DE TRATAMIENTO	OPERACION UNITARIA, PROCESO UNITARIO O METODO DE TRATAMIENTO
Operaciones preliminares	Bombeo y dilución del lodo Homogeneización y almacenamiento de lodo
Espesamiento	Espesamiento por gravedad Espesamiento por flotación Centrifugación Clasificación
Estabilización	Oxidación con cloro Estabilización con cal Digestión anaerobia Digestión aerobia Digestión aerobia con oxígeno puro Tratamiento térmico
Desinfección	Desinfección
Acondicionamiento	Acondicionamiento químico Elutriación
Deshidratación	Centrífuga Filtro de vacío Filtro prensa Filtro de banda Lechos de secado Lagunas
Secado	Lechos de secado
Compostaje	Compostaje Compostaje conjunto con residuos sólidos
Reducción térmica	Incinerador de pasos Incinerador de lecho fluidizado Combustión instantánea Incineración conjunta con residuos sólidos Pirólisis conjunta con residuos sólidos Pirólisis Oxidación por vía húmeda Recalcinación
Disposición	Vertedero controlado Vertido al terreno
Reutilización	Acondicionador del suelo Fuente de energía Rescate de sustancias útiles

TABLA II-2

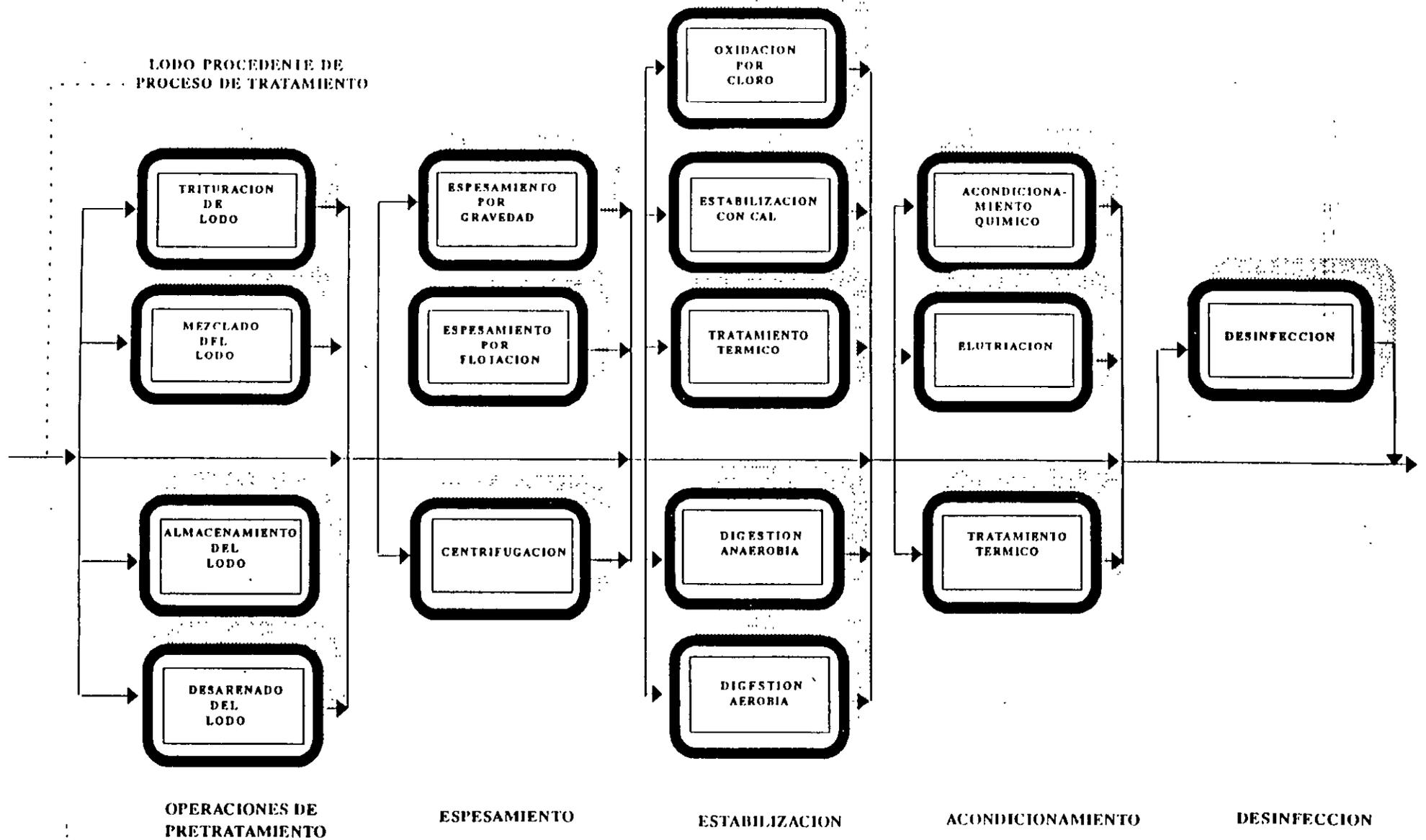


Fig.2A DIAGRAMA GENERAL DE FLUJO, PARA EL TRATAMIENTO Y DISPOSICION DEL LODO

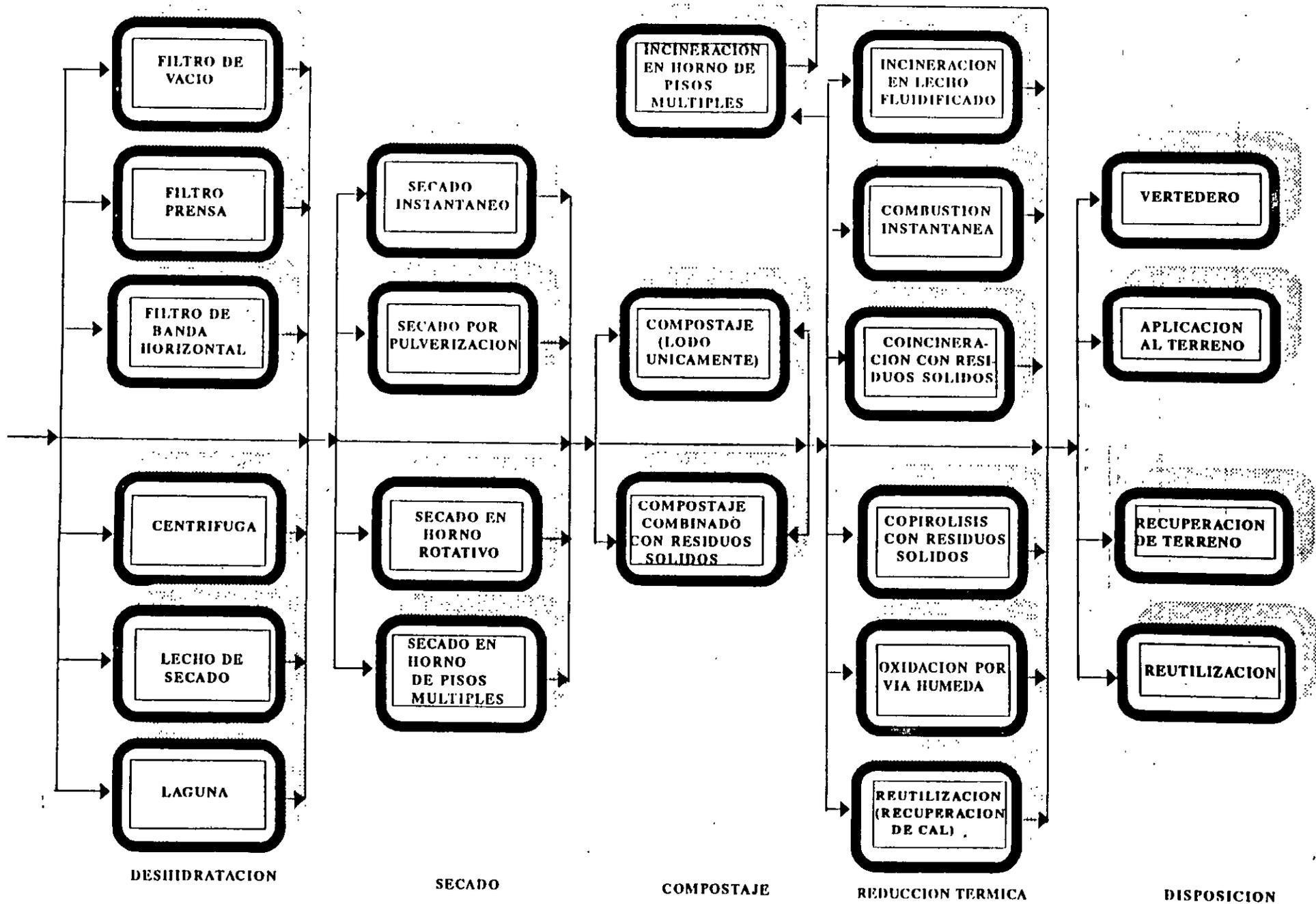


Fig.2B DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL PARA TRATAMIENTO Y DISPOSICION DEL LODO (CONTINUA 1)

II.1.1 OPERACIONES UNITARIAS

Las operaciones unitarias comúnmente utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales incluyen: 1) desbaste; 2) dilaceración; 3) homogeneización del caudal; 4) mezclado; 5) floculación; 6) sedimentación; 7) flotación y 8) filtración.

En la tabla II-3⁶ se exponen las principales aplicaciones de las operaciones físicas unitarias en el tratamiento del agua residual. Dentro de la figura 3⁷ se presenta la ubicación de las operaciones unitarias dentro de una planta de tratamiento de aguas residuales.

APLICACIONES DE LAS OPERACIONES FISICAS UNITARIAS EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES	
OPERACION	APLICACION
Desbaste	Eliminación de sólidos gruesos y sedimentables por intercepción (retención en superficie)
Dilaceración	Trituración de sólidos gruesos hasta conseguir un tamaño más o menos uniforme
Homogeneización del caudal	Regulación del caudal y de las cargas de DBO y de sólidos en suspensión
Mezclado	Mezclado de los reactivos químicos y gases con el agua residual y, para mantener los sólidos en suspensión
Floculación	Provoca la agregación de pequeñas partículas aumentando el tamaño de las mismas, para mejorar su eliminación por sedimentación por gravedad
Sedimentación	Eliminación de sólidos sedimentables y espesamiento de lodos
Flotación	Eliminación de sólidos en suspensión finamente divididos y de partículas con densidades cercanas a la del agua. También espesa los lodos biológicos
Filtración	Eliminación de los sólidos finos en suspensión que permanezcan tras el tratamiento biológico o químico
Microtamizado	Lo mismo que la filtración, también elimina algas procedentes de los efluentes de estanques de estabilización

TABLA II-3

⁶ METCALF-EDDY. Op. cit (pág 198)

⁷ METCALF-EDDY. Op. Cit. (Pág. 197)

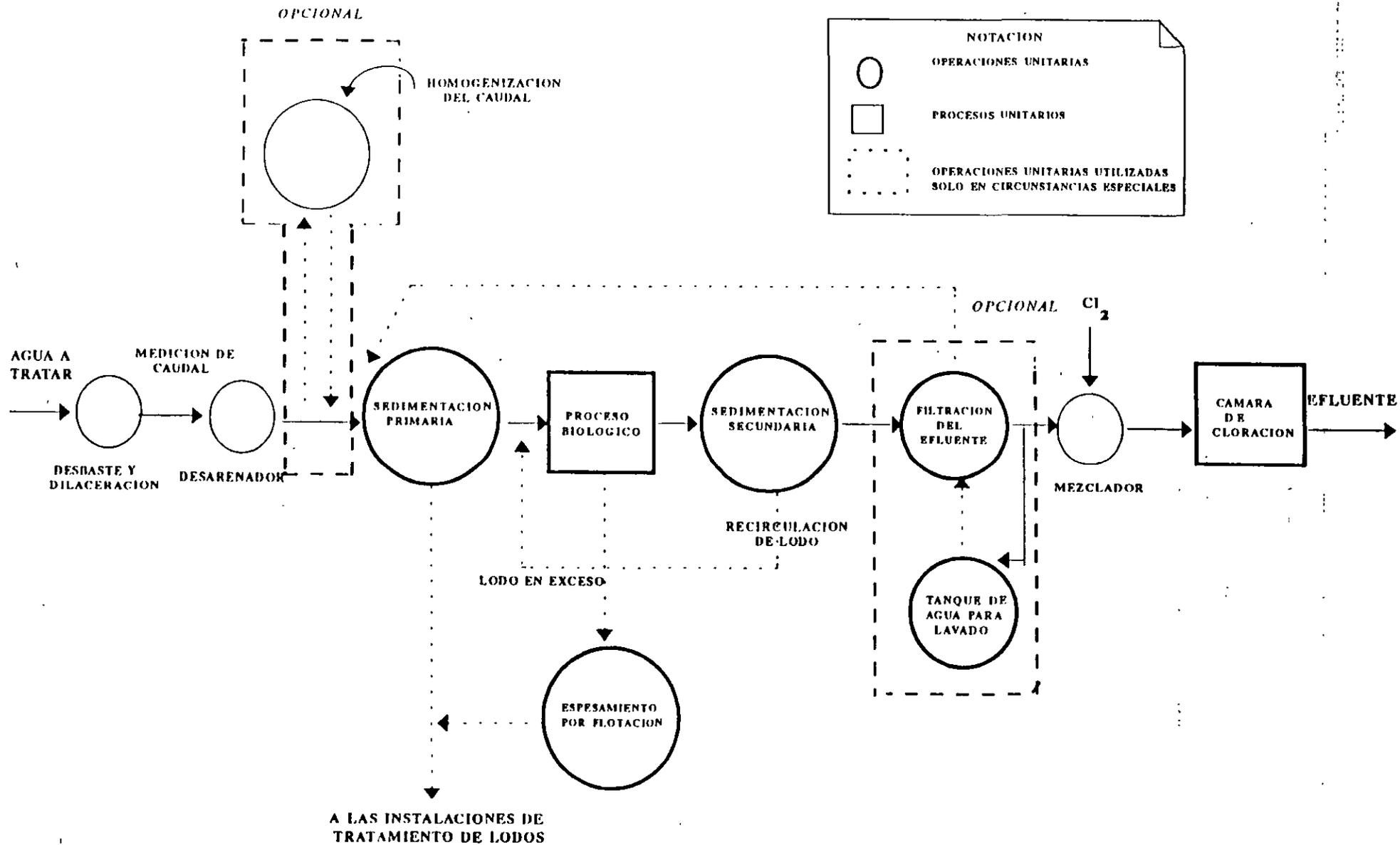


Fig.3 SITUACION DE LAS OPERACIONES FISICAS UNITARIAS EN EL DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Desbaste

Esta es la primera operación unitaria, dentro del tren de tratamiento de las aguas residuales; consiste en la eliminación de los sólidos de tamaños mas o menos grandes que lleva en suspensión el agua residual.

El desbaste puede realizarse por medio de dispositivos tales como rejillas, rejas o tamices. Una rejilla es un dispositivo con aperturas generalmente de tamaño uniforme, teniendo como elementos separadores alambres. Una reja es aquel dispositivo que tiene como elementos separadores varillas o barras paralelas. Un tamiz es aquel dispositivo formado por una placa perforada o malla metálica, cuyas aberturas pueden tener cualquier forma, aunque generalmente son circulares o rectangulares.

A la función realizada por una reja se le denomina desbaste y al material separado se le conoce como basuras.

Dilaceración

La operación de dilaceración consiste en la trituración de los sólidos de gran tamaño, por dispositivos llamados diceladores, a fin de lograr un tamaño menor y mas uniforme y así poderlos eliminar mas fácilmente por procesos posteriores.

Homogeneización de caudales

La homogeneización del caudal consiste, en la mezcla de los caudales que ingresan a la planta de tratamiento, de manera de obtener una calidad constante o casi constante. Las principales aplicaciones de la homogeneización de caudales son:

- 1.- Homogeneización de caudales en tiempo seco.
- 2.- Homogeneización de caudales procedentes de redes de alcantarillado de sistema separado, en tiempo de lluvias.
- 3.- Homogeneización de caudales mixtos de aguas pluviales y residuales sanitarias.
- 4.- Homogeneización de caudales industriales.

Las instalaciones de tratamiento de aguas residuales son proyectadas en la base de que el agua a tratar posee una calidad mas o menos constante, ya que si se supone una calidad variable, se obtendría una reducción importante en la eficiencia de los procesos de tratamiento. Ahora bien, la homogeneización de caudales se utiliza para superar los problemas operacionales causados por estas variaciones y mejorar la eficiencia de los procesos posteriores.

Desbaste

Esta es la primera operación unitaria, dentro del tren de tratamiento de las aguas residuales; consiste en la eliminación de los sólidos de tamaños mas o menos grandes que lleva en suspensión el agua residual.

El desbaste puede realizarse por medio de dispositivos tales como rejillas, rejas o tamices. Una rejilla es un dispositivo con aperturas generalmente de tamaño uniforme, teniendo como elementos separadores alambres. Una reja es aquel dispositivo que tiene como elementos separadores varillas o barras paralelas. Un tamiz es aquel dispositivo formado por una placa perforada o malla metálica, cuyas aberturas pueden tener cualquier forma, aunque generalmente son circulares o rectangulares.

A la función realizada por una reja se le denomina desbaste y al material separado se le conoce como basuras.

Dilaceración

La operación de dilaceración consiste en la trituración de los sólidos de gran tamaño, por dispositivos llamados diceladores, a fin de lograr un tamaño menor y mas uniforme y así poderlos eliminar mas fácilmente por procesos posteriores.

Homogeneización de caudales

La homogeneización del caudal consiste, en la mezcla de los caudales que ingresan a la planta de tratamiento, de manera de obtener una calidad constante o casi constante. Las principales aplicaciones de la homogeneización de caudales son:

- 1.- Homogeneización de caudales en tiempo seco.
- 2.- Homogeneización de caudales procedentes de redes de alcantarillado de sistema separado, en tiempo de lluvias.
- 3.- Homogeneización de caudales mixtos de aguas pluviales y residuales sanitarias.
- 4.- Homogeneización de caudales industriales.

Las instalaciones de tratamiento de aguas residuales son proyectadas en la base de que el agua a tratar posee una calidad mas o menos constante, ya que si se supone una calidad variable, se obtendría una reducción importante en la eficiencia de los procesos de tratamiento. Ahora bien, la homogeneización de caudales se utiliza para superar los problemas operacionales causados por estas variaciones y mejorar la eficiencia de los procesos posteriores.

Floculación

La floculación consiste en poner en contacto las partículas, por medio de agitación, de manera que se formen grumos o flóculos, tras la adición de productos químicos. Sin embargo, la agitación debe controlarse y encontrarse su velocidad adecuada, de manera que los flóculos sean del tamaño adecuado y se depositen rápidamente.

Mezclado

La operación de mezclado consiste en la unión no química de dos o más sustancias, esto implica que cada una de ellas conserva sus propiedades originales.

El mezclado puede realizarse de varias formas: 1) en saltos hidráulicos en canales; 2) en tubos tipo Venturi; 3) en conducciones; 4) en bombas, y 5) en recipientes con ayuda de medios mecánicos. En las primeras cuatro formas citadas, el mezclado tiene lugar como resultado de la turbulencia que existe en el régimen de circulación. En la quinta, la turbulencia es inducida por el uso de impulsores giratorios como paletas, turbinas y hélices; gases y bombas de chorro de aire y agua.

El mezclado es una importante operación unitaria utilizada en muchas fases del tratamiento en los cuales se requiera que una sustancia sea incluida en el agua a tratar.

Sedimentación

El procedimiento de sedimentación se basa en el aprovechamiento de la fuerza de gravedad, de modo que las partículas más pesadas se depositen en el fondo. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales, siendo aplicada con frecuencia, para la eliminación de arena, de la materia particulada en el tanque de sedimentación primaria, de los flóculos cuando se emplea coagulación química y para la concentración de sólidos en los espesadores de lodo.

Los propósitos de la sedimentación son obtener un efluente clarificado así como la producción de un lodo con una concentración de sólidos adecuada de manera que pueda ser manejado y tratado de manera económica.

Flotación

Es el proceso mediante el cual se separan partículas tanto líquidas como sólidas contenidas en una fase líquida, lo cual se logra al introducir burbujas finas de gas (generalmente aire) en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas y la fuerza ascendente del conjunto partícula-burbuja de gas es tal, que hace que la partícula ascienda a la superficie. De ésta forma se puede lograr el ascenso de partículas de densidad mayor a la del líquido. Sin embargo, aun el ascenso de partículas con densidad menor a la del líquido puede, igualmente, verse facilitada.

La principal ventaja de la flotación sobre la sedimentación es que las partículas muy pequeñas o ligeras que se sedimentan muy lentamente, pueden eliminarse con mayor eficiencia y en menor tiempo. Una vez que las partículas han sido depositadas en la superficie, éstas son captadas mediante un rascado superficial.

Filtración en medio granular

La filtración en medio granular aplicado al tratamiento del agua residual, consiste en hacer pasar el agua residual ya sea con o sin la adición de productos químicos, a través de un lecho filtrante compuesto de material granular. Dentro del lecho filtrante, la eliminación de los sólidos en suspensión se realiza por un complejo mecanismo de eliminación, que incluye uno o más de las siguientes operaciones: tamizado, interceptación, impacto, sedimentación y adsorción.

La filtración con diversos medios granulares es un método para la eliminación de los sólidos residuales presentes en los efluentes procedentes de procesos de tratamiento biológicos o químicos.

II.1.2 PROCESOS QUIMICOS UNITARIOS

Dentro del tratamiento del agua residual, se denominan procesos químicos unitarios a aquellos en los que se transforma la materia orgánica por medio o a través de reacciones químicas.

En la tabla II-4⁸ se presentan los principales procesos químicos en el tratamiento de las aguas residuales y sus aplicaciones.

Precipitación química

La precipitación química consiste en la eliminación de ciertos componentes contenidos en un líquido, por medio de la precipitación de los mismos; provocada por la adición de ciertos productos químicos.

La precipitación química en el tratamiento de las aguas residuales es utilizada con la finalidad de eliminar ciertos componentes contenidos en el agua residual, logrando consecuentemente el mejoramiento del rendimiento de la planta de tratamiento.

Dentro del tratamiento de las aguas residuales, la precipitación química ofrece muchas ventajas:

a) la adición de productos químicos aumenta el grado de eliminación de los sólidos suspendidos y de la DBO,

⁸ METCALF-EDDY. Op. cit. (pág. 282)

- b) es muy eficaz en la eliminación del fósforo,
- c) combinada con la adsorción por carbón activo se obtiene un tratamiento completo del agua residual sin necesidad de un tratamiento biológico adicional y aportando, al mismo tiempo, una mejor eliminación de los productos orgánicos del agua que son resistentes al tratamiento biológico.

APLICACIONES DE LOS PROCESOS QUIMICOS UNITARIOS EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL	
PROCESO	APLICACION
Precipitación química	Eliminación de fósforo y aumento de la eliminación de sólidos en suspensión en instalaciones de sedimentación primaria utilizadas en el tratamiento fisicoquímico.
Transferencia de gases	Adición y eliminación de gases.
Adsorción	Eliminación de materia orgánica no eliminada por métodos de tratamiento químicos y biológicos convencionales. También utilizada para la decoloración de agua residual antes del vertido final del efluente tratado.
Desinfección	Eliminación de los organismos causantes de enfermedades (puede realizarse de diversas maneras).
Desinfección con cloro	Eliminación de los organismos causantes de enfermedades. El cloro es el producto químico más comúnmente utilizado.
Decoloración	Eliminación del cloro combinado residual total remanente después de la cloración (puede realizarse de diversas maneras).
Desinfección con ozono	Destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades.
Otros	Pueden usarse diversos productos químicos para llevar a cabo objetivos específicos en el tratamiento del agua residual.

TABLA II-4

Transferencia de gases

La transferencia de gases es una operación vital para el funcionamiento de ciertos procesos de tratamiento de las aguas residuales. Específicamente, los procesos en los cuales se utiliza son:

- en los procesos aerobios tales como lodos activados, filtros biológicos y de digestión aerobia; donde su funcionamiento depende de la disponibilidad de oxígeno en cantidades suficientes;
- en la desinfección del agua, en donde el cloro es transferido al agua en forma de gas;
- en el proceso de eliminación de componentes de nitrógeno, que consiste en la conversión del nitrógeno en amoníaco y luego transferir éste del agua al aire;
- en el tratamiento del agua residual séptica, donde se tendrá que añadir aire a fin de eliminar los malos olores y mejorar su tratabilidad.

Adsorción

La adsorción consiste, en la captación a través de una interfase conveniente, de sustancias solubles presentes en una solución. La interfase puede encontrarse entre el líquido y un gas, un sólido u otro líquido. Como ejemplos de utilización de la adsorción en el tratamiento de las aguas residuales se tiene:

- en el proceso de flotación se utiliza la adsorción en la fase aire-líquido,
- en el procesos de adsorción sobre carbón activo, se presenta una adsorción en la interfase líquido-sólido.

El proceso de adsorción sobre carbón activo no había sido utilizado extensivamente en el tratamiento de las aguas residuales, sin embargo, las investigaciones llevadas a cabo sobre el tratamiento de las aguas residuales con carbón activo son muy prometedoras. Este proceso suele considerarse en el tratamiento del agua residual como una fase de pulido final de la calidad del agua tratada por medio de procesos de tratamiento biológico, en cuyo caso, tiene la función de eliminar parte de la materia orgánica residual disuelta. Sin embargo, el tratamiento completo con carbón activo está siendo estudiado como un posible sustituto del tratamiento biológico de las aguas residuales municipales.

Desinfección

La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos. La desinfección en el tratamiento de las aguas residuales, suele realizarse mediante agentes químicos, agentes físicos, medios mecánicos y radiación; siendo utilizada para la eliminación de los organismos causantes de enfermedades.

Los agentes químicos utilizados como desinfectantes son: 1) fenol y compuestos fenólicos; 2) alcoholes; 3) yodo; 4) cloro y sus compuestos; 5) bromo; 6) ozono; 7) metales pesados y compuestos afines; 8) colorantes; 9) jabones y detergentes sintéticos; 10) compuestos amoniâcales cuaternarios; 11) agua oxigenada y 12) diversos álcalis y ácidos.

Los desinfectantes más corrientes son los productos químicos oxidantes, de los cuales el cloro es el más universalmente utilizado. El bromo y el yodo son, a veces, utilizados en piscinas, pero no en aguas residuales tratadas. El ozono es un desinfectante muy eficaz y, aunque no deja ozono residual, su uso va en aumento; siendo utilizado extensivamente para la eliminación de olores del aire evacuado por las estaciones de bombeo, y en tanques de tratamiento y espesadores cubiertos. También, suele emplearse agua alcalina o muy ácida para destruir bacterias patógenas, ya que el agua con un pH mayor de 11 o inferior a 3 es relativamente tóxica para la mayoría de las bacterias.

Desinfección con cloro

El cloro es el desinfectante químico más universalmente utilizado. La razón es que satisface la mayoría de las características requeridas para los desinfectantes químicos ideales.

Los compuestos de cloro más comúnmente utilizados en las plantas de tratamiento son el gas cloro (Cl_2), el hipoclorito sódico (NaOCl) y el dióxido de cloro (ClO_2). Sin embargo, los hipocloritos cálcico y sódico son los más frecuentemente usados en las plantas de tratamiento de tamaño pequeño, tales como las plantas prefabricadas.

Decloración

La decloración consiste en la eliminación de la totalidad del cloro residual combinado, que resulta tras la cloración. Es importante la eliminación de el cloro residual combinado, para reducir los efectos tóxicos de los efluentes clorados sobre la flora y fauna del cuerpo receptor.

Cuando se requiera utilizar este proceso, ya sea por exigencias de calidad del efluente o como proceso posterior al proceso de cloración para la eliminación del nitrógeno amoniacal, el mejor agente de decloración es el dióxido de azufre, aunque puede utilizarse también el carbón activo. Algunos productos químicos que también pueden ser utilizados son el sulfito sódico (Na_2SO_3) y el metabisulfito sódico ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$).

Desinfección con Ozono

El ozono es un elemento químico oxidante que posee propiedades bactericidas similares al cloro, pero que además es un magnífico agente destructor de virus (inactivación vírica).

II.1.3 PROCESOS UNITARIOS BIOLÓGICOS

Los objetivos que persigue el tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. Aunque cabe recalcar que, dependiendo del origen del agua residual, serán los objetivos del tratamiento biológico, así se tiene que para un agua residual doméstica, los objetivos son: reducir el contenido orgánico y nutrientes tales como nitrógeno y fósforo y en el caso de un agua residual industrial, la finalidad es reducir la concentración de los compuestos orgánicos e inorgánicos.

Para el desarrollo del presente apartado, es necesario definir los siguientes conceptos del tratamiento biológico:

Desnitrificación anóxica. Es el proceso por el cual el nitrógeno de los nitratos se transforma biológicamente en nitrógeno gas en ausencia de oxígeno. Este proceso también es llamado desnitrificación anaerobia.

Eliminación de la DBO carbonosa. Es la conversión biológica de la materia orgánica carbonosa contenida en el agua residual en tejido celular y diversos productos gaseosos.

Nitrificación. Es el proceso biológico consistente en la transformación del amoníaco en nitrito y posteriormente en nitrato.

Desnitrificación. Es el proceso biológico por medio del cual el nitrato se convierte en gas nitrógeno y otros productos gaseosos.

Estabilización. Es el proceso biológico por medio del cual, la materia orgánica contenida en el lodo producido en el proceso de decantación primaria o en cualquier proceso de tratamiento biológico, se estabiliza por medio de su conversión en gases y tejido celular. Según las condiciones en que se lleve a cabo la estabilización, ésta puede ser aerobia o anaerobia.

Sustrato. Es el término que se aplica a la materia orgánica o a los nutrientes que sufren una conversión por algún proceso de tratamiento biológico o, que constituyen un factor limitante de éstos.

Procesos de cultivo en suspensión. Se denomina así a los procesos de tratamiento biológico en los que los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes del agua residual, se encuentran en suspensión en el líquido.

Procesos de cultivo fijo. Son los procesos de tratamiento biológico en los que los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes del agua residual, se encuentran fijos en un medio inerte tal como piedras, escorias o materiales cerámicos o plásticos, diseñados para tal fin. A estos procesos también se les conoce con el nombre de procesos de película fija.

Los procesos de tratamiento biológico se basa en la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes del agua residual en diversos gases y tejido celular. Un proceso completo de tratamiento biológico no solo incluye dicha conversión, sino que también, la eliminación del tejido celular resultante, el cual tiene un peso ligeramente mayor que el del agua, por lo que puede eliminarse por medio de decantación del efluente tratado.

En la tabla II-5⁹ aparecen los procesos de tratamiento biológicos más usados actualmente en el tratamiento del agua residual, los cuales se clasifican en: procesos aerobios, anóxicos, anaerobios y una combinación de los procesos aerobios con los anóxicos o con los aerobios.

Como puede verse en la tabla, las aplicaciones principales de los procesos biológicos mencionados son: 1) eliminación de la materia orgánica carbonosa presente en el agua residual, 2) nitrificación, 3) desnitrificación y 4) estabilización.

Los procesos de tratamiento biológico, de acuerdo al tipo de microorganismos responsables del tratamiento de los residuos, se clasifican en: aerobios, anaerobios y aerobios-anaerobios o facultativos.

- **Procesos Aerobios.** El oxígeno se encuentra en cantidades suficientes, por lo que la estabilización de la materia orgánica se encuentra a cargo de organismos aerobios.

- **Procesos Anaerobios.** El oxígeno se encuentra presente en concentraciones escasas o nula, por lo que se tienen presentes tanto microorganismos facultativos como anaerobios.

- **Aerobios-anaerobios o facultativos.** Son los procesos de tratamiento en los que los organismos responsables de el tratamiento son indiferentes a la presencia del oxígeno disuelto, así que se pueden tener presentes los tres tipos de microorganismos: aerobios, anaerobios y facultativos.

⁹ METCALF-EDDY. Op. cit. (págs. 432 y 433)

PRINCIPALES PROCESOS BIOLÓGICOS UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL		
TIPO	NOMBRE COMUN	USO*
PROCESOS AEROBIOS		
Cultivo en suspensión	Proceso de lodos activados:	
	Convencional (flujo en pistón)	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
	Tanque de mezcla completa	Idem
	Aireación graduada	Idem
	Oxígeno puro	Idem
	Aireación modificada	Idem
	Contacto y estabilización	Idem
	Aireación prolongada	Idem
	Canales de oxidación	Idem
	Nitrificación de cultivos en suspensión:	Nitrificación
	Lagunas aireadas	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
	Digestión aerobia:	
	Aire convencional	Estabilización, eliminación de la DBO carbonosa.
	Oxígeno puro	Idem
Cultivo fijo	Estanques aerobios de alta carga	Eliminación de la DBO carbonosa
	Filtros percoladores:	
	Baja carga	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
	Alta carga	Idem
	Filtros de pretratamiento	Eliminación de la DBO carbonosa
	Sistemas biológicos rotativos de contacto (biodiscos)	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
Reactores de lecho compacto	Nitrificación	
Procesos combinados	Filtros percoladores, lodos activados	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
	Lodos activados, filtros percoladores	Idem

PRINCIPALES PROCESOS BIOLÓGICOS UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL		
TIPO	NOMBRE COMUN	USO*
PROCESOS ANOXICOS		
Cultivo en suspensión	Desnitrificación con cultivo en suspensión	Desnitrificación
Crecimiento fijo	Desnitrificación con cultivo fijo	Idem
PROCESOS ANAEROBIOS		
Cultivo en suspensión	Digestión anaerobia Baja carga, una etapa Alta carga, una etapa Doble etapa	Estabilización, eliminación de la DBO carbonosa Idem Idem
Cultivo fijo	Proceso anaerobio de contacto Filtro anaerobio Lagunas anaerobias (estanques)	Eliminación de la DBO carbonosa Eliminación de la DBO carbonosa estabilización (desnitrificación) Eliminación de la DBO carbonosa (estabilización)
PROCESOS AEROBIOS ANOXIDOS O ANAEROBIOS		
Cultivo en suspensión	Fase única nitrificación-desnitrificación	Eliminación de la DBO carbonosa, nitrificación, desnitrificación
Crecimiento vinculado	Nitrificación-desnitrificación	Nitrificación, desnitrificación
Procesos combinados de cultivo fijo	Lagunas facultativas	Eliminación de la DBO carbonosa
	Lagunas de maduración	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
	Lagunas anaerobias-facultativas	Eliminación de la DBO carbonosa
	Lagunas anaerobias-facultativas-aerobias	Idem

* El uso principal se presenta en primer lugar; entre paréntesis se exponen otros usos.

TABLA II-5

PROCESOS DE TRATAMIENTO AEROBIO DE CULTIVO EN SUSPENSION

Los principales procesos de tratamiento biológico de cultivo en suspensión incluye: 1) Lodos activados, 2) Nitrificación de cultivo en suspensión, 3) Lagunas aireadas, 4) Digestión aerobia y 5) Estanques de estabilización de alta carga.

Lodos activados

El nombre de este proceso tiene su origen en el hecho de que el proceso se basa en la producción de una masa activada de microorganismos capaces de degradar la materia orgánica carbonosa por vía aerobia.

La aplicación de este proceso, comienza con la introducción de el agua residual a tratar en un reactor donde se mantiene el cultivo bacteriano aerobio en suspensión, de manera que éstos comiencen a estabilizar la materia. Denominándole al nuevo contenido del reactor, líquido mezcla. Es necesario el empleo de difusores o aireadores mecánicos tanto para mantener las condiciones aerobias en el reactor, como para mantener el líquido mezcla en régimen completo. Una vez completada la estabilización de la materia, tras un período determinado de tiempo, el agua tratada se conduce a un tanque de sedimentación donde las células se separan del agua residual tratada. Una parte de las células sedimentadas se retorna al reactor para mantener la concentración deseada en el mismo, mientras que la otra parte es purgada del sistema. Lo anterior es necesario, ya que de no ser así, la masa de microorganismos podría aumentar a tal grado de hacer inutilizable el sistema; el nivel al cual debe mantenerse la masa biológica depende de la eficiencia requerida del tratamiento y de la cinética de su crecimiento.

Nitrificación en cultivos en suspensión

Dentro del tratamiento de las aguas residuales, no solo es necesaria la degradación biológica de la materia orgánica carbonosa, sino que a menudo es también deseable estabilizar aquellos compuestos orgánicos que pueden ejercer una demanda de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno). Dentro de éstos compuestos inorgánicos, el más importante es el amoníaco, ya que su presencia estimula la disminución del oxígeno disuelto a través del proceso biológico de nitrificación. La nitrificación consiste en la oxidación biológica del amoníaco a nitrato, siendo éste último un producto estabilizado ya que constituye el estado de oxidación final de los compuestos de nitrógeno.

En la práctica, el proceso de nitrificación puede llevarse a cabo en el mismo reactor utilizado en el tratamiento de la materia orgánica carbonosa, identificando al proceso como **nitrificación de fase única**, o bien, en un reactor separado conteniendo cultivos en suspensión. Cuando se utiliza una instalación por separado para la nitrificación, ésta incluye, normalmente, un reactor y un tanque de sedimentación.

La oxidación del amoníaco a nitrato puede llevarse a cabo por medio de aire u oxígeno puro.

Lagunas aireadas aerobias

El proceso de lagunas aireadas es, esencialmente, el mismo que el de lodos activados, excepto que el reactor deberá ser un depósito excavado en el terreno. En una laguna aerobia se mantienen en suspensión la totalidad de los sólidos y el aire requerido por el proceso, al igual que en el sistema de lodos activados, es suministrado por aireadores de superficie o mediante difusores.

La microbiología de este proceso, resulta ser similar a la empleada en el proceso de lodos activados.

A pesar de su similitud con el proceso de lodos activados, existen características específicas que marcan su diferencia, una de ellas es que la gran superficie asociada a las lagunas aireadas puede dar lugar a efectos térmicos mas pronunciados que aquellos que se encuentran asociados al proceso de lodos activados.

En los sistemas de lagunas aireadas, es posible realizar una nitrificación tanto estacional como continua. El grado de nitrificación, dependerá tanto del diseño y de las condiciones de operación dentro del sistema, como de la temperatura del agua residual.

Digestión aerobia

La digestión aerobia es un proceso utilizado para tratar los lodos orgánicos. Ahora bien, los digestores aerobios pueden emplearse para tratar: a) únicamente lodos activados o lodos provenientes de filtros percoladores; b) mezcla de lodos activados o lodos provenientes de filtros percoladores con lodos primarios; c) lodo biológico en exceso, proveniente de plantas de tratamiento de lodos activados sin sedimentación primaria.

El funcionamiento del proceso, se basa en lo siguiente: al agotarse el suministro del alimento disponible, los microorganismos comienzan a consumir su propio protoplasma para obtener la energía para las reacciones de mantenimiento celular (fase endógena), posteriormente, el tejido celular se oxida por vía aerobia a dióxido de carbono, agua y amoníaco. El amoníaco producido en esta fase, es oxidado para formar nitrato a medida que progresa la digestión.

La finalidad de mezclar lodo activado o lodo proveniente de los filtros percoladores con lodo primario, para su digestión conjunta, es que se produzca tanto la oxidación directa de la materia orgánica del lodo primario como la oxidación endógena del tejido celular.

Estanques de estabilización aerobia

En su forma más simple, los estanques de estabilización aerobia se encuentran formados por grandes depósitos excavados en el terreno de poca profundidad y son utilizados para el tratamiento del agua residual con la utilización, tanto de algas como de bacterias.

En éste proceso, el oxígeno es suministrado por aireación natural de la superficie y por fotosíntesis de las algas. El oxígeno liberado por las algas a través del proceso de fotosíntesis es utilizado por las bacterias en la degradación aerobia de la materia orgánica. Los nutrientes y el dióxido de carbono producto de esta degradación son, a su vez, utilizados por las algas. También existen animales superiores como rotíferos y protozoos, cuya función principal consiste en mejorar el efluente.

PROCESOS AEROBIOS DE TRATAMIENTO DE CULTIVO FIJOS

Filtro percolador

El filtro percolador es un estanque impermeable que contiene un lecho formado por un medio sumamente permeable en el cual se encuentran adheridos los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica y a través del cual se filtra el agua residual. El medio filtrante consiste generalmente en piedras, aunque también pueden utilizarse medios filtrantes plásticos. El lecho del filtro es generalmente circular y el residuo líquido es distribuido sobre el lecho mediante un distribuidor giratorio. La recolección del líquido tratado y los sólidos biológicos que se hayan separado del medio se lleva a cabo mediante un sistema de desagüe en la parte inferior del filtro.

La materia orgánica presente en el agua residual, es adsorbida por la película o capa viscosa, en cuyas capas externas es degradada por los microorganismos aerobios. Cuando los microorganismos crecen, el espesor de la película aumenta, provocando que el oxígeno sea consumido totalmente en las capas superficiales, creándose un ambiente anaerobio cerca de la superficie del medio.

Filtros de pretratamiento

Dentro del tratamiento de las aguas residuales, los filtros de pretratamiento tienen como objetivo de su empleo, el reducir la carga orgánica aplicada a un proceso biológico situado a continuación o para mejorar un proceso de nitrificación posterior.

La actividad biológica en un filtro de pretratamiento es esencialmente la misma que para un filtro percolador. No obstante, existirán algunas diferencias a causa del efecto de arrastre más fuerte, resultado de los mayores caudales hidráulicos aplicados a estas unidades.

La materia orgánica que no es rápidamente biodegradable se ve escasamente afectada por este sistema, dado el relativo corto tiempo de retención hidráulica característico de este sistema.

Sistemas biológicos rotativos de contacto (biodiscos)

Un sistema biológico rotativo de contacto consiste en una serie de discos circulares concéntricos de poliestireno o cloruro de polivinilo separados unos de otros a muy corta distancia; los cuales se encuentran parcialmente en el seno de la misma.

La descripción del proceso es la siguiente: los crecimientos biológicos se adhieren a las superficies de los discos formando una película biológica que se le denomina biomasa. La rotación de los discos pone alternativamente en contacto la biomasa con la materia orgánica presente en el agua residual y con la atmósfera para la adsorción del oxígeno. La rotación es así mismo, el mecanismo de eliminación del exceso de sólidos adheridos a los discos por medio de las fuerzas cortantes que crea y mantiene la materia en suspensión, de manera que ésta pueda ser transportada al tanque clarificador.

Los biodiscos suelen utilizarse como proceso de tratamiento secundario, aunque también pueden emplearse para obtener una nitrificación estacional o continua.

Reactores de lecho compacto

Un reactor de lecho compacto consiste en un tanque (reactor) en el cual existe un medio al cual se adhieren los microorganismos responsables del proceso. El agua a tratar, así como el aire u oxígeno puro se introducen y distribuyen por la parte inferior del tanque.

Este tipo de reactores puede ser utilizado tanto para la eliminación de la materia orgánica carbonosa como para el proceso de nitrificación.

PROCESOS ANOXICOS DE CULTIVOS EN SUSPENSION Y FLJOS

Se conoce con el nombre de desnitrificación al proceso de eliminación del nitrógeno en forma de nitrato por medio de su conversión a gas nitrógeno. El proceso de nitrificación puede realizarse de forma biológica bajo condiciones anóxicas (en ausencia de oxígeno). El término de condiciones anóxicas surge, porque las principales reacciones bioquímicas que tienen lugar no son aerobias, sino más bien una modificación de las aerobias.

Los principales procesos anóxicos de desnitrificación se clasifican en proceso de cultivo en suspensión y de cultivo fijo.

Desnitrificación con cultivos en suspensión

El proceso de desnitrificación con cultivos en suspensión, se lleva a cabo, necesariamente a continuación de cualquier proceso de conversión del amoníaco y nitrógeno orgánico en nitrato (nitrificación).

Las bacterias incluidas en éste proceso obtienen energía para su crecimiento a partir de la conversión del nitrato en gas nitrógeno. Debido a que los efluentes nitrificados poseen un bajo contenido de materia carbonosa, es necesaria una fuente externa de carbono, de las cuales, las empleadas mas comúnmente son el metanol y algunos residuos industriales de bajo contenido en nutrientes.

Es recomendable que este proceso conste de tres unidades, cuyas funciones son las siguientes:

- a) En la primera, se lleva a cabo la desnitrificación,
- b) en esta segunda unidad, debe eliminarse el gas nitrógeno producido en la reacción de la etapa anterior, ya que de lo contrario, éste entorpece el proceso de sedimentación del líquido mezcla. Además, en ésta segunda unidad puede eliminarse la DBO residual inducida por el metanol.
- c) esta tercera unidad se encuentra formada por un clarificador, en el cual se lleva a cabo la sedimentación del efluente tratado.

Desnitrificación en capa fija

Este proceso se lleva a cabo en un reactor vertical de columna, el cual contiene piedras u otros medios sintéticos en los cuales se encuentran adheridas las bacterias. Dependiendo del tamaño del medio, este proceso puede necesitar o no un proceso de clarificación posterior.

Al igual que en el proceso de cultivo en suspensión, generalmente se necesita una fuente externa de carbono.

PROCESOS ANAEROBIOS DE TRATAMIENTO DE CULTIVOS EN SUSPENSION

Digestión anaerobia

Las principales aplicaciones de este proceso han sido y siguen siendo en la actualidad la estabilización de los lodos provenientes del tratamiento del agua residual y de ciertos residuos industriales. Sin embargo, se ha demostrado recientemente que los residuos orgánicos diluidos pueden también ser tratados anaeróbicamente.

Este proceso se lleva a cabo dentro de un reactor completamente cerrado, dentro del cual la materia orgánica contenida en la mezcla de lodos primarios y biológicos se convierten biológicamente, bajo condiciones anaerobias, en metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). El lodo estabilizado que resulta del proceso no es putrescible y posee un bajo contenido de organismos patógenos.

En la actualidad se poseen dos tipos de digestores, de baja y alta carga. En el proceso de baja carga, el contenido del digestor no se calienta ni se mezcla y los tiempos de retención

van de 30-60 días. En un proceso de alta carga, el contenido del digestor se calienta y se mezcla completamente, y los tiempos de retención son menores o iguales a 15 días.

Proceso anaerobio de contacto

Se ha descubierto que algunos residuos industriales de alto contenido de DBO pueden ser estabilizados de forma muy efectiva, por medio del tratamiento anaerobio.

En el proceso anaerobio de contacto, se utiliza un reactor sellado para impedir la entrada de aire, al cual se introducen mezclados los residuos a tratar con los sólidos del lodo recirculado para ser digeridos. Una vez completada la digestión, el contenido del reactor se mezcla completamente, separándose posteriormente el residuo digerido en un clarificador o unidad de flotación al vacío, para ser conducido posteriormente a otro tratamiento posterior. El lodo anaerobio sedimentado es retornado al reactor para servir de siembra al agua residual entrante.

Dada la baja tasa de síntesis de los microorganismos anaerobios, el exceso de lodo a evacuar resulta mínimo.

PROCESOS ANAEROBIOS DE TRATAMIENTO DE CULTIVO FIJO

Filtro anaerobio

Este proceso es utilizado tanto para el tratamiento de residuos tanto domésticos como industriales; resultando ideal para el tratamiento de residuos de baja concentración a temperatura ambiente.

El filtro anaerobio es una innovación reciente que consiste en una columna rellena de diversos tipos de medio sólidos. El agua a tratar fluye a través de la columna en sentido ascendente, entrando en contacto con el medio sobre el que se desarrollan y fijan las bacterias anaerobias, las cuales no resultan ser arrastradas por el flujo de agua.

Estanques anaerobios

Este proceso es utilizado para el tratamiento de aguas residuales de alto contenido orgánico y con una alta concentración de sólidos.

Un estanque anaerobio, generalmente está constituido por un estanque profundo excavado en el terreno, dotado sistemas de conducciones tanto de entrada como de salida de flujo.

Generalmente, estos estanques son anaerobios en toda su profundidad excepto en una estrecha zona de la superficie. La estabilización del residuo se consigue por un proceso combinado de precipitación y de conversión anaerobia de los residuos orgánicos en metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) y otros productos gaseosos finales así como ácidos orgánicos

y tejidos celulares. Los residuos a tratar en el estanque, sedimentan en el fondo del mismo y el efluente parcialmente clarificado es extraído para otro proceso posterior de tratamiento.

Por medio del uso de estos estanques es posible conseguir eficiencias de eliminación de DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días) entre 70 y 85 %.

COMBINACION DE PROCESOS DE TRATAMIENTO AEROBIOS, ANOXICOS O ANAEROBIOS

Estanques facultativos

Se denominan estanques facultativos, aquellos donde se lleva a cabo la estabilización de la materia orgánica bajo la acción de bacterias aerobias anaerobias y facultativas.

Un estanque facultativo está formado por tres zonas: 1) una zona superficial donde existen bacterias anaerobias y algas en relación simbiótica; 2) una zona intermedia parcialmente aerobia y anaerobia, donde se lleva a cabo la descomposición de los residuos orgánicos a cargo de bacterias facultativas; 3) una zona inferior anaerobia en la que los sólidos acumulados se descomponen activamente por efecto de las bacterias anaerobias.

En la práctica, las condiciones aerobias se mantienen por la presencia de algas o por el uso de aireadores de superficie.

Estanques de maduración o terciarios

Este tipo de estanques están diseñados para mejorar la calidad de los efluentes secundarios y para la nitrificación estacional. Su funcionamiento se basa en la respiración endógena de los sólidos biológicos residuales y la conversión del amoníaco en nitrato mediante el uso del oxígeno suministrado a partir de la aireación superficial y de las algas. Para mantenerse las condiciones aerobias, la carga orgánica a que trabajen los estanques debe ser muy baja.

II.2 TRATAMIENTO Y DISPOSICION DEL LODO

II.2.1 TRATAMIENTO DEL LODO

El proceso completo de tratamiento de las aguas residuales, debe abarcar tanto del tratamiento de la fase líquida del agua, como el de los residuos sólidos subproducto de dichos procesos, los cuales incluyen arenas, basuras y lodo. Sin embargo el lodo representa el sólido de mayor volumen y su tratamiento y disposición es, quizás, el problema más complejo del tratamiento de las aguas residuales. El lodo tiene forma líquida o líquida semisólida, cuyo contenido de sólidos varía del 0.25 al 12 %.

Los principales métodos utilizados en la actualidad para el tratamiento y disposición de los lodos se encuentran plasmados en la tabla II-6¹⁰.

Los procesos de espesamiento (concentración), el acondicionamiento, la deshidratación y el secado, tienen como finalidad el eliminar la humedad del lodo; mientras que la digestión, la incineración y al oxidación por vía húmeda se utilizan primordialmente para eliminar la materia orgánica presente en el lodo.

Procedencia del lodo

Dentro de una planta de tratamiento, el lodo podrá ser originado por distintos procesos, dependiendo del tipo de planta de que se trate y de los procesos involucrados en el tren de tratamiento, así se tienen en la tabla II-7¹¹, los principales procesos productores de lodos, así como el tipo de lodo que producen.

¹⁰ METCALF-EDDY Op.cit. (pág. 629)

¹¹ METCALF-EDDY. Op cit.(pag 631)

Los principales métodos utilizados en la actualidad para el tratamiento y disposición de los lodos se encuentran plasmados en la tabla II-6¹⁰.

Los procesos de espesamiento (concentración), el acondicionamiento, la deshidratación y el secado, tienen como finalidad el eliminar la humedad del lodo; mientras que la digestión, la incineración y al oxidación por vía húmeda se utilizan primordialmente para eliminar la materia orgánica presente en el lodo.

Procedencia del lodo

Dentro de una planta de tratamiento, el lodo podrá ser originado por distintos procesos, dependiendo del tipo de planta de que se trate y de los procesos involucrados en el tren de tratamiento, así se tienen en la tabla II-7¹¹, los principales procesos productores de lodos, así como el tipo de lodo que producen.

¹⁰ METCALF-EDDY Op cit (pág. 629)

¹¹ METCALF-EDDY. Op. cit. (pag 631)

METODOS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE LODOS	
OPERACION UNITARIA, PROCESO UNITARIO, O METODO DE TRATAMIENTO	FUNCION
OPERACIONES DE PRETRATAMIENTO	
Trituración	Reducción de tamaño
Desarenado	Eliminación de arenas
Mezclado	Mezclado
Almacenamiento	Almacenamiento
ESPEZAMIENTO	
Por gravedad	Reducción de volumen
Por flotación	Idem
Por centrifugación	Idem
ESTABILIZACION	
Oxidación con cloro	Estabilización
Estabilización con cal	Idem
Tratamiento térmico	Idem
Digestión anaerobia	Estabilización, reducción de masa
Digestión aerobia	Idem
ACONDICIONAMIENTO	
Acondicionamiento químico	Acondicionamiento del lodo
Elutriación	Lixiviación
Tratamiento cabeza	Acondicionamiento del lodo
DESINFECCION	
Desinfección	Desinfección
DESHIDRATACION	
Filtro de vacío	Reducción de volumen
Filtro prensa	Idem
Filtro de banda horizontal	Idem
Centrífuga	Idem
Era de secado	Idem
Laguna	Almacenamiento, reducción de volumen

METODOS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE LODOS	
OPERACION UNITARIA, PROCESO UNITARIO, O METODO DE TRATAMIENTO	FUNCION
SECADO	
Instantáneo	Reducción de peso, reducción de volumen
Por pulverización	Idem
En horno rotativo	Idem
En horno de pisos múltiples	Idem
COMPOSTAJE	
Compostaje (solo lodo)	Recuperación de productos, reducción de volumen
Compostaje combinado con residuos sólidos	Idem
REDUCCION TERMICA	
Horno de pisos múltiples	Reducción de volumen, recuperación de calor
Horno de lecho fluidificado	Reducción de volumen
Combustión instantánea	Idem
Coincineración con residuos sólidos	Idem
Copirólisis con residuos sólidos	Reducción de volumen, recuperación de calor
Oxidación por vía húmeda	Reducción de volumen
DISPOSICION	
A vertedero	Evacuación final
Aplicación al terreno	Idem
Regeneración de tierras	Evacuación final, regeneración del terreno
Reutilización	Evacuación final, recuperación de recursos

TABLA II-6

ORIGEN DE LOS SOLIDOS Y LODO DENTRO DE LAS INSTALACIONES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO		
OPERACION O PROCESO UNITARIO	TIPO DE SOLIDOS O LODO	OBSERVACIONES
DESBASTE	Sólidos gruesos	A menudo los sólidos gruesos se trituran y se retornan al agua residual para su eliminación en las instalaciones de tratamiento siguientes.
DESARENADO	Arenas y espumas	A menudo no se incluyen instalaciones de eliminación de espumas en las de eliminación de arenas.
PREAIREACION	Espumas	En algunas plantas, no se incluyen instalaciones de eliminación de espuma en los tanques de aireación.
DECANTACION PRIMARIA	Lodo primario y espumas completa	Las cantidades tanto de lodo como de espumas dependen del tipo de red de alcantarillado y de si los vertidos industriales se descargan en la misma.
TANQUES DE AIREACION	Sólidos suspendidos	Los sólidos suspendidos se producen por conversión de la DBO. Si la purga se realiza desde el tanque de aireación, se utilizan generalmente el espesamiento por flotación para espesar el lodo activado en exceso.
SEDIMENTACION SECUNDARIA	Lodo secundario y espumas	En la actualidad, es obligatorio la instalación de un sistema de eliminación de espumas en los tanques de sedimentación secundaria.
INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE LODOS	Lodos y cenizas	Las características y contenido de humedad del lodo y de las cenizas dependen de las operaciones y procesos unitarios

TABLA II-7

Los principales procedentes de sólidos y lodos, así como los tipos generados se resumen en la tabla II-8¹².

¹² METCALF-EDDY Op. cit. (págs 636, 637)

CARACTERISTICAS DEL LODO PRODUCIDO DURANTE EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL	
SOLIDOS O LODO	DESCRIPCION
Residuos del desbaste	Incluyen todo tipo de materiales orgánicos e inorgánicos de tamaño suficientemente grande para ser eliminados por rejillas de barras. El contenido de materia orgánica varía dependiendo de la naturaleza del sistema y la estación del año.
Arena	Las arenas están constituidas, normalmente por los sólidos inorgánicos más pesados que sedimentan con velocidades relativamente altas. Dependiendo de las velocidades de funcionamiento, la arena puede también contener cantidades significativas de materia orgánica, específicamente grasas.
Espumas	La espuma está formada por los materiales flotantes recogidos en la superficie de los tanques de sedimentación primarios y secundarios....
Lodo primario	El lodo de los tanques de decantación primaria es generalmente gris y, en la mayoría de los casos, produce un olor extremadamente molesto. Puede digerirse fácilmente si se adoptan condiciones adecuadas de funcionamiento.
Lodo de precipitación química	El lodo procedente de los tanques de precipitación química es generalmente de color oscuro, aunque su superficie puede ser roja si contiene mucho hierro. Su olor puede ser molesto, pero no tanto como el del lodo de decantación primaria. Aunque es algo grasiento, los hidratos de hierro o aluminio contenidos en él lo hacen gelatinoso. Si se deja suficiente tiempo en el tanque, se produce su descomposición como en el caso del lodo de decantación primaria, pero a una velocidad menor. Produce gas en cantidades sustanciales y su densidad aumenta con el tiempo.
Lodo activo	El lodo activo tiene generalmente una apariencia floculenta de color marrón. Si el color es muy oscuro puede estar próximo a volverse séptico. Si el color es más claro de lo normal puede estar aireado insuficientemente y los sólidos tienen tendencia a sedimentar lentamente. El lodo en buenas condiciones tiene un olor no molesto característico. Tiende a convertirse en séptico con bastante rapidez y luego adquiere un olor desagradable de putrefacción. Se digiere fácilmente solo o mezclado con lodos primario frescos.
Lodo de filtros percoladores	El humus de los filtros percoladores es pardusco floculento y relativamente inodoro cuando está fresco. Experimenta generalmente la descomposición más lentamente que otros lodos crudos pero cuando contiene muchos gusanos puede convertirse rápidamente en molesto. Se digiere fácilmente.

CARACTERISTICAS DEL LODO PRODUCIDO DURANTE EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL	
SOLIDOS O LODO	DESCRIPCION
Lodo digerido (aerobio)	El lodo digerido por vía aerobia es de color marrón oscuro y tiene apariencia floculenta. El olor de este tipo de lodo no es molesto. El lodo aerobio bien digerido se deshidrata fácilmente, y los sólidos secos resultantes son inodoros.
Lodo digerido (anaerobio)	El lodo digerido por vía anaerobia es de color marrón oscuro-negro y contiene una cantidad excepcionalmente grande de gas. Cuando está totalmente digerido, no es molesto, siendo su olor relativamente débil y parecido al alquitrán caliente, goma quemada o lacre. Cuando se dispone a seras de secado en capas de poco espesor, los sólidos no transportados en primer lugar a la superficie por la acción de los gases que contiene dejando en la parte inferior una lámina de agua relativamente clara, que se drena rápidamente y permite que los sólidos sedimenten lentamente sobre el lecho. A medida que progresa el secado, los gases escapan dejando una superficie muy agrietada con un olor que recuerda el compost de jardín.
Residuos de fosas sépticas	El lodo de las fosas sépticas es negro. A menos que esté bien digerido como consecuencia de un largo tiempo de almacenamiento, es molesto a causa del sulfuro de hidrógeno y de otros gases que desprende. El lodo puede sacarse sobre eras de secado si se extiende en capas de poco espesor, pero cabe esperar olores desagradables mientras se drena a menos que haya sido bien digerido.

TABLA II-8**Características del lodo**

Las características del lodo son variables, dependiendo del origen de los sólidos contenidos, del tiempo transcurrido desde su producción y del tipo de proceso que les dió origen.

En la tabla II-9⁹ se presentan algunos datos típicos de la composición química de los lodos tanto crudos como digeridos. Las características químicas de los lodos, son útiles para elegir la alternativa adecuada para su disposición y para efecto de la eliminación de el agua contenida en el mismo. La medida de su pH de la alcalinidad y del contenido de ácidos orgánicos, es importante para el control de el proceso de digestión anaerobia. El poder calorífico del lodo es importante cuando se proyecte utilizar la incineración o algún proceso para su combustión.

⁹ METCALF-EDDY Op. cit (pág 638)

COMPOSICIÓN QUÍMICA TÍPICA DEL LODO CRUDO Y DIGERIDO				
CARACTERÍSTICAS	LODO PRIMARIO CRUDO		LODO DIGERIDO	
	INTERVALO	VALOR TÍPICO	INTERVALO	VALOR TÍPICO
Sólidos secos totales (ST), %	2-8	5	6-12	10
Sólidos volátiles (% de ST)	60-80	65	30-60	40
Grasas y aceites (solubles en éter, % de ST)	6-30	-	5-20	-
Proteínas (% en ST)	20-30	25	15-20	18
Nitrógeno (N, % de ST)	1.5-6	4	1.6-6	4
Fósforo (P₂O₅, % de ST)	0.8-3	2	1.5-4	2.5
Potasio (K₂O, % de ST)	0-1	0.4	0-3	1
Celulosa (% de ST)	8-15	10	8-15	10
Hierro (no como sulfuro)	2-4	2.5	3-8	4
Sílice (SiO₂, % de ST)	15-20	-	10-20	-
pH	5-8	6	6.5-7.5	7
Alcalinidad (mg/l como CaCO₃)	500-1500	600	2500-3500	3000
Ácidos orgánicos (mg/l como HAc)	200-2000	500	100-600	200
Poder calorífico (MJ/kg)	14-23	16.5 ^a	6-14	9 ^b

^a Basado en el 65% de materia volátil

^b Basado en el 40% de materia volátil.

TABLA II-9

OPERACIONES DE PRETRATAMIENTO

La dilaceración, desarenado, mezclado y almacenamiento de lodo, son procesos necesarios para garantizar una alimentación constante y homogénea de lodo a las instalaciones de tratamiento. El mezclado y almacenamiento del lodo pueden llevarse a cabo en una unidad única o en unidades separadas.

Dilaceración del lodo

La dilaceración dentro del tratamiento de los lodos consiste en la trituración o desmenuzamiento de los sólidos grandes a fin de reducir su tamaño. Algunos de los procesos que deben ir precedidos de diceladores, así como los objetivos de la dilaceración se muestran en la tabla II-10¹⁰.

La dilaceración dentro del tratamiento de los lodos se puede lograr por medio de dos técnicas: pulverización con molinos de martillos o corte.

PROCESOS QUE REQUIEREN LA TRITURACION PREVIA DEL LODO	
PROCESO	OBJETO DE LA TRITURACION
Tratamiento térmico	Para prevenir la obturación de las bombas de alta presión y los intercambiadores de calor
Centrifugas del tipo de disco y de camisa maciza	Para prevenir la obturación de las toberas y entre los discos. Las unidades de discos puede requerir también tamices de malla fina
Oxidación con cloro	Para mejorar el contacto del cloro con las partículas de lodo
Bombeo con bombas de cavidad progresiva	Para prevenir la obturación y reducir el calor

TABLA II-10

Desarenado del lodo

El proceso de desarenado de lodos es utilizado cuando dentro del tren de tratamiento de las aguas residuales no se hayan incluido instalaciones para la eliminación de arenas antes de los tanques de sedimentación primaria, o cuando las cantidades de arena sean muy grandes.

El método más efectivo para el desarenado del lodo consiste en la aplicación de fuerzas centrífugas para conseguir la separación de las partículas de arena del lodo orgánico. Dicha separación puede lograrse por el empleo de hidrociclones que carecen de partes móviles. El funcionamiento de dichos hidrociclones es el siguiente:

¹⁰ METCALF-EDDY. Op. cit. (pág. 653)

- 1) El lodo se aplica tangencialmente a una zona de alimentación cilíndrica, impartándole, en consecuencia, una fuerza centrífuga.
- 2) Las partículas mas pesadas de arena se desplazan hacia el exterior de la zona cilíndrica, donde son recogidas.
- 3) El lodo orgánico ya separado es extraído por una salida independiente a la de las arenas.

Para obtener una separación efectiva de la arena, el lodo debe diluirse, ya que el tamaño de las partículas que pueden eliminarse es inversamente proporcional a la concentración del lodo.

Mezclado del lodo

El mezclado es una operación muy importante dentro del tratamiento de los lodos, la cual se aplica para mezclar lodos de distintos orígenes, a fin de obtener una mezcla uniforme de alimentación a los procesos de tratamiento que así lo requieran.

CONCENTRACION (ESPESADO)

El espesado de lodos es un procedimiento cuya finalidad es la concentración de la fracción sólida del lodo por la eliminación de parte de la fracción líquida. Este proceso se consigue generalmente por medio físicos tales como gravedad, flotación y centrifugación.

Dentro de las plantas de tratamiento, este proceso se lleva a cabo en los decantadores primarios, en las instalaciones de digestión de lodos o en unidades independientes proyectadas para tal fin.

La reducción del volumen de los lodos, es beneficiosa para los procesos de tratamiento subsiguientes, ya que presenta las siguientes ventajas: 1) reducción de capacidad necesaria de los tanques y equipos para su tratamiento; 2) reducción de la cantidad de productos químicos necesarios para el acondicionamiento del lodo y 3) reducción de calor y cantidad de combustible requerido para los procesos de digestión y secado térmico o incineración.

ESTABILIZACION: PROCESOS QUIMICOS Y TERMICOS

El objetivo que busca la estabilización de los lodos, consiste en la estabilización de la fracción volátil u orgánica del lodo, ya que, la supervivencia de los patógenos, la formación de malos olores y la putrefacción del lodo se suscitan cuando se permite el desarrollo de los microorganismos sobre la fracción orgánica del lodo. Hay cuatro medios de estabilización para reducir los efectos perjudiciales mencionados anteriormente: 1) la reducción biológica del contenido volátil, 2) la oxidación química de la materia volátil, 3) la adición de productos químicos al lodo para hacerlo inadecuado para la supervivencia de los microorganismos y 4) la desinfección o esterilización del lodo por medio de la aplicación de calor.

Las tecnologías disponibles para la estabilización del lodo son: 1) la oxidación con cloro, 2) la estabilización con cal, 3) el tratamiento térmico, 4) la digestión anaerobia y 5) la digestión aerobia.

Oxidación con cloro

La oxidación del lodo con cloro, consiste en la oxidación química del lodo mediante la aplicación de dosis elevadas de gas cloro.

Este proceso se lleva a cabo en un reactor cerrado donde después de introducir el lodo a tratar, se añade el gas cloro durante un corto período de tiempo. El proceso debe ir seguido por la deshidratación.

La mayoría de unidades de oxidación con cloro son de diseño modular prefabricadas, constituyendo unidades completas fácilmente transportables.

Como resultado de la reacción del gas cloro con el lodo, se forma una gran cantidad de ácido clorhídrico, el cual puede producir la solubilización de metales pesados. En consecuencia, los sobrenadantes y el filtrado de los lodos oxidados con cloro, pueden contener una alta concentración de metales pesados, asimismo, altas concentraciones de cloraminas.

El proceso puede utilizarse para el tratamiento de cualquier lodo biológico, para residuos de fosas sépticas y como medio auxiliar de estabilización suplementaria de instalaciones de estabilización sobrecargadas.

Estabilización con cal

Este proceso se basa en la adición de cal en cantidades suficientes al lodo crudo, de manera de elevar su pH a un valor mayor o igual a 12 o mayor, lo cual provoca un medio no adecuado para la supervivencia de los microorganismos. En consecuencia, el lodo no sufrirá putrefacción, ni desprenderá olores y no constituirá un peligro sanitario en tanto que el pH se mantenga a ese nivel. Dado que la estabilización con cal no destruye la materia orgánica necesaria para el crecimiento bacteriano, el lodo debe disponerse antes de que el pH sufra una disminución considerable, en cuyo caso puede activarse la reproducción bacteriana y comenzar la putrefacción.

Tratamiento térmico

El tratamiento térmico se basa en el calentamiento del lodo a temperaturas superiores a 260°C en un depósito a presión, con presiones por encima de 2.75 MN/m², durante un corto tiempo. Cuando el lodo se somete a altas temperaturas y presiones, la actividad térmica libera el agua ligada a los sólidos, provocándose la coagulación de los mismos. Además, se produce la hidrólisis de los materiales protéicos, provocando la destrucción de las células, liberándose compuestos orgánicos solubles y nitrógeno en forma de amoníaco.

Este proceso es utilizado tanto para el proceso de estabilización como el de acondicionamiento, ya que favorece la deshidratación de los sólidos sin la necesidad de utilizar productos químicos.

ESTABILIZACION: PROCESO DE DIGESTION ANAEROBIA DEL LODO

El proceso de digestión aerobia ya fue expuesto con anterioridad dentro de el apartado de procesos anaerobios de tratamiento de cultivos en suspensión, correspondiente al tratamiento convencional de las aguas residuales. Los métodos utilizados para la digestión anaerobia de los lodos son los siguientes:

Digestión convencional

La digestión convencional del lodo se lleva a cabo mediante un proceso de digestión de una sola fase y se basa en la digestión, el espesamiento del lodo y la formación de sobrenadante en forma simultanea.

Digestión de alta carga

Este proceso difiere del convencional de una sola fase, en que la carga de sólidos que maneja es mucho mayor y se tiene un mejor mezclado del lodo.

Digestión de dos fases

En este proceso, la primera fase está formada por un primer tanque donde se lleva a cabo la digestión del lodo. La segunda fase consta de un segundo tanque que se utiliza para el almacenamiento y concentración del lodo digerido, así como para la formación de una capa de sobrenadante relativamente clarificada.

ESTABILIZACION: PROCESOS DE DIGESTION AEROBIA DEL LODO

La digestión aerobia constituye otro método de estabilización de lodos orgánicos. Los digestores aerobios son utilizados para tratar lodo activado en exceso, mezcla de lodo activado o de lodos provenientes de filtros percoladores con lodos primarios o lodo activado en exceso procedente del proceso de lodos activados sin sedimentación primaria.

Las ventajas de la digestión aerobia sobre la anaerobia son: 1) una reducción de sólidos volátiles comparables a la obtenida por vía anaerobia; 2) menores concentraciones de DBO en el líquido sobrenadantes; 3) formación de un producto final inodoro, biológicamente estable y que puede ser fácilmente eliminado; 4) producción de un lodo con excelentes características de deshidratación; 5) recuperación de los valores fertilizantes básicos del lodo; 6) menores problemas de funcionamiento; 7) menores costes asociados. Sin embargo, existen también

inconvenientes en la aplicación de dicho proceso, tales como el elevado coste asociado al suministro del oxígeno y en que un subproducto útil, como el metano, no pueda ser recuperado.

El funcionamiento del proceso se expuso con anterioridad en el apartado de procesos de tratamiento aerobio de cultivos en suspensión, dentro de los tratamientos convencionales del agua residual.

ACONDICIONAMIENTO

Dentro del tratamiento de los lodos, el acondicionamiento es un proceso que se utiliza con la finalidad de mejorar su características para su deshidratación posterior. El acondicionamiento suele lograrse mas frecuentemente por medio de dos métodos que se basan en la adición de productos químicos y el tratamiento térmico.

Acondicionamiento químico

En este procesos, el acondicionamiento del lodo se logra con la adición de productos químicos, lo cual da como resultado la coagulación de los sólidos y la liberación del agua absorbida. Los productos químicos empleados pueden ser cloruro férrico, cal, sulfuro de alúmina o polímeros orgánicos. Dentro del tren de tratamiento de los lodos, este proceso se usa antes de el proceso de filtración al vacío y de la centrifugación. Este proceso resulta económico por sus altos rendimientos y su flexibilidad.

Elutriación

La elutriación consiste en mezclar un sólido o mezcla de un sólido y un líquido, con otro fluido, con lo que se busca transferir ciertos componentes al fluido.

Este proceso es utilizado para lixiviar del lodo digerido diversos compuestos químicos, que de no ser así, dificultarían o encarecerían el tratamiento posterior del lodo.

La operación usual de lixiviación, consta de dos etapas: 1) una buena mezcla del sólido o de la mezcla sólido-líquido con el fluido de lavado, y 2) la separación del fluido de lavado.

Este proceso ha caído en desuso, debido a que los sólidos finamente divididos resultantes del lavado del lodo no pueden ser completamente eliminados en las instalaciones de tratamiento del agua residual a las que son retornados.

Tratamiento térmico

Como se mencionó con anterioridad, este proceso se basa en el acondicionamiento del lodo por su calentamiento durante períodos cortos de tiempo a altas temperaturas y bajo presión.

El proceso de tratamiento térmico tiene mayor aplicación a los lodos biológicos difíciles de estabilizar o acondicionar por otros medios. Los altos costos asociados a la inversión del equipo utilizado limitan, generalmente su uso a grandes plantas.

Otros procesos

Existen otros procesos tales como la **congelación** y la **irradiación** que han arrojado buenos resultados en el acondicionamiento del lodo. Ambos procesos han mostrado efectividad para mejorar la filtrabilidad del lodo, solo que la irradiación no resulta ser una opción económicamente competitiva.

DESINFECCION

Debido a que el lodo ha estado adquiriendo gran importancia debido al uso potencial de la materia, se requiere la desinfección del mismo para evitar problemas de salud pública.

Existen varios métodos para destruir los organismos patógenos presentes en los lodos líquidos y deshidratados. A continuación se señalan aquellos métodos de desinfección con los que se puede obtener una mayor eficiencia en la reducción de organismos patógenos que la obtenida por algún método de estabilización:

- 1) Pasteurización durante 30 minutos a 70°C.
- 2) Tratamiento a pH elevado, normalmente con cal a un pH por encima de 12 durante 3 horas.
- 3) Almacenamiento a largo plazo del líquido digerido (60 días a 20°C o 120 días a 4°C).
- 4) Compostaje completo a temperaturas superiores a 55°C y curado por almacenamiento en montones durante un mínimo de 30 días.
- 5) Adición de cloro para estabilizar y desinfectar el lodo.
- 6) Desinfección con otros productos químicos.
- 7) Desinfección por radiación de alta energía.

Algunos procesos de estabilización producen asimismo la desinfección. Estos procesos son: la oxidación con cloro, la estabilización con cal, el tratamiento térmico y la digestión aerobia termófila.

Los procesos de digestión aerobia y anaerobia, únicamente reducen el número de organismos patógenos, a excepción de la digestión aerobia, la cual si desinfecta el lodo. Los mejores sistemas de desinfección de los lodos líquidos por vía aerobia y anaerobia, son la pasteurización y el almacenamiento a largo plazo. Los procesos de almacenamiento a largo plazo y el compostaje resultan ser los medios más efectivos de desinfección de los lodos digeridos deshidratados aerobios y anaerobios.

Pasteurización

La pasteurización es un proceso utilizado para desinfectar los lodos.

Los dos métodos comúnmente utilizados para la pasteurización de lodos líquidos son: 1) la inyección directa de vapor y 2) el intercambio directo de calor.

La pasteurización, en plantas pequeñas puede realizarse por inyección directa de vapor directamente en los camiones de transporte del lodo al lugar de disposición.

Almacenamiento a largo plazo

En este proceso, el lodo líquido digerido es almacenado generalmente en lagunas excavadas previamente en el terreno.

DESHIDRATACION

La deshidratación dentro del tratamiento de los lodos es una operación física (mecánica) unitaria que consiste en la reducción de el contenido de humedad del lodo.

Algunas de las conveniencias de deshidratación del lodo son:

- 1) Para reducir los costes de transporte al reducir su volumen.
- 2) El lodo deshidratado es, generalmente, más fácil de manipular que el lodo espesado o líquido.
- 3) La deshidratación del lodo es necesaria antes de su incineración, con la finalidad de incrementar su poder calorífico al eliminar el exceso de humedad.
- 4) En algunos casos, para lograr que el lodo sea totalmente inodoro e imputrescible.
- 5) Cuando se pretende disponer el lodo en vertederos controlados, la deshidratación se precisa para reducir la producción de lixiviados en la zona del vertedero.

Los dispositivos de deshidratación se basan en varias técnicas; algunos dependen de los procesos de evaporación y filtración naturales, mientras que los aparatos de deshidratación mecánica utilizan medios físicos asistidos mecánicamente.

Entre los procesos de deshidratación se tienen: los filtros de vacío, las centrífugas, los filtros prensa, los filtros de banda horizontales, los lechos de secado y las lagunas.

SECADO TERMICO

El secado del lodo es una operación consistente en la reducción del contenido de agua por vaporización de ésta. El objeto del secado térmico es el de extraer la humedad del lodo,

de modo que pueda incinerarse o bien procesarse para su utilización posterior. El secado es necesario en la fabricación de fertilizantes para poder triturar el lodo, reducir su peso y evitar la continuación de la actividad biológica. El contenido de humedad del lodo seco es inferior al 10%.

COMPOSTAJE

Es el proceso mediante el cual la materia orgánica presente en el lodo es degradada biológicamente hasta formar un producto final estable, sin problemas de carácter sanitario, exento de olores y de características similares al humus. Dado que el lodo se procesa, generalmente en un intervalo de temperaturas termófilas, el producto final resulta también pasteurizado, además del 20 al 30 % de los sólidos volátiles se convierte en dióxido de carbono y agua. El compost formada a partir del lodo puede utilizarse como acondicionador del suelo.

El proceso de formación de compost consta de tres etapas básicas:

1) Preparación de los residuos a tratar. Dentro de esta etapa se hace la recepción, clasificación, separación, reducción de tamaños, adición de humedad y nutrientes.

2) Descomposición de los residuos preparados. Para esta etapa se han desarrollado varias técnicas. En el compostaje por apilado, los residuos preparados son acumulados formando montones dipuestos en un campo abierto. Como alternativa al compostaje por apilado, se han desarrollado varios sistemas mecánicos, dentro de los cuales se incluye el proceso de pilas aireadas. Una vez formado el compost, éste es extraído, tamizado y curado.

3) Preparación y comercialización del producto. Esta etapa incluye la trituration fina, mezclado con diversos aditivos, granulado, introducción en sacos, almacenamiento, transporte y comercialización.

REDUCCION TERMICA

El objetivo principal de la reducción térmica consiste en la reducción de la cantidad de materiales sólidos a desechar. La reducción térmica de los lodos puede llevarse a cabo por dos métodos:

1) Por medio de la incineración y oxidación por vía húmeda se lleva a cabo la transformación total o parcial de los sólidos orgánicos en productos finales oxidados, tales como dióxido de carbono y agua.

2) Por medio de pirólisis, se produce la volatilización y oxidación parcial de los sólidos orgánicos a productos finales con poder calorífico.

Los lodos procesados por reducción térmica, son normalmente lodos crudos deshidratados. Los métodos más comúnmente utilizados en este proceso incluyen la incineración en hornos de pisos múltiples, la incineración en lecho fluidificado, la combustión instantánea, la incineración conjunta, la pirólisis conjunta, la oxidación por vía húmeda y la recalcinación.

II.2.2 DISPOSICION DE LOS LODOS Y SOLIDOS RESIDUALES

La disposición del lodo y sólidos procedentes de las instalaciones de tratamiento pueden llevarse a cabo de tres maneras:

- 1) Disposición al terreno;
- 2) Disposición al mar;
- 3) Reutilización del lodo. Uno de los usos más extendido es como acondicionador o fertilizador del suelo.

A continuación se expondrán las alternativas más comunes de disposición al terreno.

Aplicación al terreno

Consiste en la extensión del lodo deshidratado sobre las tierras de labranza, procediendo con la movilización de la tierra una vez que haya secado con la finalidad de su completa incorporación al terreno. El humus contenido en el lodo acondiciona la tierra y mejora su capacidad de retención de la humedad. El lodo deshidratado húmedo puede incorporarse directamente al terreno por inyección.

Lagunas

Este método se basa en el depósito del lodo crudo o digerido en un estanque de tierra construido para tal fin. Las lagunas de lodos digeridos no presentan problema alguno, sin embargo aquellas que trabajan con lodos crudos debido a que en ellas se da la descomposición anaerobia y aerobia, se producen malos olores. Los sólidos estabilizados se sedimentan en el fondo de la laguna donde se acumulan y podrán extraerse posteriormente por medio de drenado y secado. El líquido sobrante de las lagunas, si es que hubiese alguno, se devuelven a la planta para su tratamiento.

Disposición como relleno

Este método es recomendable únicamente para lodos y sólidos previamente estabilizados, de manera que no se produzcan condiciones de descomposición u otras molestias. Este método de disposición puede aplicarse tanto al lodo digerido, la arena limpia y el residuo de incineración.

Vertedero Controlado

Este método consiste en la conducción y disposición de los residuos en una zona prefijada, donde son compactados con un tractor o apisonadora, y se cubren con una capa de 0.30 m de tierra limpia. Después de varios años, durante los cuales se producen la descomposición y compactación de los residuos, el terreno resultante puede usarse como lugar de esparcimiento u otras finalidades.

Este método es aconsejable cuando al mismo tiempo puede utilizarse para la eliminación de basuras y otros residuos sólidos de la comunidad.

La selección de el lugar de vertido debe tener en cuenta las molestias y los riesgos a la salud que puedan causarse. Es asimismo importante el construir un buen drenaje de la zona elegida a fin de que se elimine toda posibilidad de contaminación del agua subterránea o de corrientes superficiales.

II.3 TRATAMIENTO AVANZADO DEL AGUA RESIDUAL

Los procesos y operaciones de tratamiento convencionales poseen serias deficiencias ya que éstos ofrecen escasa o nula influencia en muchas de las sustancias contenidas en el agua residual. Dichas sustancias van desde iones inorgánicos relativamente simples, tales como calcio, potasio, sulfato, nitrato y fosfato, hasta un número, siempre creciente de compuestos complejos orgánicos sintéticos. La influencia de dichas sustancias en el medio ambiente no se ha estudiado extensivamente, mas se espera que en unos cuantos años esta situación cambie, con lo que aumentarán las exigencias de tratamiento y se fijarán los niveles tolerables de concentración de dichas sustancias en los efluentes de las plantas depuradoras.

Efectos de los elementos químicos presentes en el agua residual

En la tabla II-11¹¹ se presentan algunos de los compuestos químicos presentes en las aguas residuales y las concentraciones en las que pueden causar problemas al ser evacuadas al medio ambiente.

Dada la importancia real y potencial en promover el crecimiento de organismos acuáticos, son de gran importancia considerar los compuestos que contienen nitrógeno y fósforo.

¹¹ METCALF-EDDY. Op cit. (pág. 764)

CONCENTRACIONES MAXIMAS DE LOS COMPONENTES QUIMICOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES		
COMPONENTE	EFEECTO	CONC. MAX. mg/l
INORGANICO		
Amoniaco	Aumenta la demanda de cloro; tóxico para los peces; puede convertirse en nitratos y agotar los recursos de oxígeno; con el fósforo puede llevar al desarrollo de crecimientos acuáticos indeseables.	Cualquier Cualquier Variable ^a Cualquier cantidad
Calcio y Magnesio	Aumenta la dureza y los sólidos totales disueltos.	Por encima de 100
Cloruro	Imparte sabor salado; interfiere en los usos agrícolas e industriales.	250 75-200
Mercurio	Tóxico para los seres humanos y la vida acuática.	0.00005
Nitrato	Estimula el crecimiento acuático y de las algas; puede causar metahemoglobinemia en los niños (niños azules)	0.3 ^b 10
Fosfato	Estimula el crecimiento acuático y de las algas; Interfiere con la coagulación; Interfiere con el ablandamiento cal-sosa.	0.015 ^b 0.2-0.4 0.3
Sulfato	Acción catártica.	600-1000
ORGANICO		
DDT	Tóxico para peces y la vida acuática en general	0.001
Hexacloruro	Pueden ser cancerígenos y causar problemas de sabor y olor en el agua.	0.02
Petroquímicos	Idem.	0.005-0.1
Comp. fenólicos	Idem.	0.0005-0.001
Agentes tensoactivos	Provocan espumas y pueden interferir con la coagulación.	1.0-3.0

^a Depende del pH y de la temperatura.

^b Para lagos de aguas tranquilas

TABLA II-11

II.3.1 PROCESOS Y OPERACIONES UNITARIOS

Las operaciones y procesos unitarios aplicados al tratamiento avanzado del agua residual se clasifican en físicos, químicos y biológicos. Dentro de la tabla II-12¹² y con la finalidad de facilitar una comparación general de los distintos procesos y operaciones, se incluyen datos sobre: 1) tipos de aguas residuales a tratar, 2) tipos de elementos afectados y 3) la forma de los residuos finales que han de ser diluidos.

CONVERSION Y ELIMINACION DEL NITROGENO

El nitrógeno puede encontrarse en el medio acuático procedente de fuentes tanto naturales como artificiales. Las fuentes naturales incluyen la precipitación, el polvo, la escorrentía rural y la fijación biológica aunque debido a las actividades humanas, han aumentado las cantidades de nitrógeno contenidas en la precipitación, el polvo y en la escorrentía rural. Otras fuentes que se derivan de las actividades humanas incluyen la escorrentía en zonas urbanas, las aguas residuales municipales, el drenaje de tierras de cultivo y pastos, los residuos industriales y las filtraciones de las fosas sépticas.

NITRIFICACION

Las bases principales de este proceso se encuentran contenidas en el apartado de Nitrificación en cultivos en suspensión dentro de los procesos de tratamiento convencional de las aguas residuales.

La mayor parte del nitrógeno presente en el agua residual tratada se encuentra en forma amoniacal. En este apartado se considera la aplicación del proceso de nitrificación a la conversión del amoníaco contenido en el agua residual.

Como se presentó con anterioridad, los procesos biológicos utilizados para la nitrificación se identifican como procesos aerobios de cultivo suspendido y de cultivo fijo. Así mismo, la nitrificación puede llevarse a cabo en el mismo reactor utilizado para la eliminación de la DBO carbonosa o en un reactor independiente.

¹² METCALF-EDDY. Op. cit. (págs. 768, 769)

OPERACIONES Y PROCESOS DE TRATAMIENTO AVANZADO DEL AGUA RESIDUAL			
DESCRIPCION	TIPO DE AGUA RESIDUAL TRATADA	USO PRINCIPAL	RESIDUO PARA DISPOSICION
OPERACIONES FISICAS UNITARIAS			
Arrastre de amoníaco con aire	ETS	Eliminación de nitrógeno amoniacal	Ninguno
Filtración			
* Con medio múltiple	ETS	Eliminación de sólidos suspendidos	Líquido y lodo
* Lecho de diatomeas	ETS	Eliminación de sólidos suspendidos	Lodo
* Microtamices	ETB	Eliminación de sólidos suspendidos	Lodo
Destilación	ETS nitrificado + filtración	Eliminación de sólidos disueltos	Líquido
Electrodialisis	ETS + filtración + adsorción con carbón	Eliminación de sólidos disueltos	Líquido
Flotación	ETP, ETS	Eliminación de sólidos suspendidos	Lodo
Fraccionamiento de espumas	ETS	Eliminación de materia orgánica refractaria, agentes tensoactivos y metales	Líquido
Congelación	ETS + filtración	Eliminación de sólidos disueltos	Líquido
Separación de fases gaseosas	ETS	Eliminación de nitrógeno amoniacal	Ninguno
Aplicación al terreno	ETP, ETS	Nitrificación, desnitrificación, eliminación de nitrógeno amoniacal y fósforo	Ninguno
Osmosis inversa	ETS + filtración	Eliminación de sólidos disueltos	Líquido
Sorción	ETB	DDIS	Líquido y lodo
PROCESOS QUIMICOS UNITARIOS			
Cloración al breakpoint	ETS (filtración)	Eliminación de nitrógeno amoniacal	Líquido

OPERACIONES Y PROCESOS DE TRATAMIENTO AVANZADO DEL AGUA RESIDUAL			
DESCRIPCION	TIPO DE AGUA RESIDUAL TRATADA	USO PRINCIPAL	RESIDUO PARA DISPOSICION
Adsorción con carbón	ETB, ETS (filtración) ^d	Eliminación de materia orgánica disuelta, metales pesados y cloro	Líquido
Precipitación química	ETB	Precipitación de fósforo, eliminación de metales pesados, eliminación de sólidos coloidales	Lodo
Precipitación química en lodo activado	ETP	Eliminación de fósforo	Lodo
Intercambio iónico	ETS + filtración	Eliminación de nitrógeno amoniacal y nitratos	Líquido
Tratamiento electroquímico	No tratada	Eliminación de sólidos disueltos	Líquido y lodo
Oxidación	ETS	Eliminación de materia orgánica refractaria	Ninguno
PROCESOS BIOLÓGICOS UNITARIOS			
Asimilación bacteriana	ETP	Eliminación de nitrógeno amoniacal	Lodo
Desnitrificación	Agua de drenaje de la agricultura	Reducción de nitrato	Ninguno
Cultivo de algas	ETB	Eliminación de nitrógeno amoniacal	Algas
Nitrificación	ETP, ETB	Oxidación del amoníaco	
Nitrificación-desnitrificación	ETP, ETB	Eliminación de nitrógeno total	Lodo

^a ETP= efluente de tratamiento primario; ETB= efluente de tratamiento biológico;

ETS= efluente de tratamiento secundario.

^b Opcional

TABLA II-12

Proceso combinado de oxidación del carbono y nitrificación

Este proceso se fundamenta en la base de que los organismos nitrificantes se encuentran presentes en casi todos los procesos aerobios de tratamiento biológico, por lo cual, la nitrificación puede llevarse a cabo en cualquiera de los procesos de lodos activados de cultivo suspendido, al igual que en los procesos de cultivo fijo tales como filtros percoladores y los biodiscos. Todo lo que se requiere es mantener las condiciones adecuadas para el crecimiento de organismos nitrificantes.

Nitrificación por fases independientes

Tanto los procesos de cultivo fijo como los de cultivo suspendido se pueden emplear para realizar la nitrificación por fases independientes.

En la tabla II-13¹³ se exponen las ventajas e inconvenientes de los diversos procesos de nitrificación.

DESNITRIFICACION Y NITRIFICACION-DESNITRIFICACION

Este proceso ya fue tratado con anterioridad en el apartado de procesos anóxicos de cultivos en suspensión y fijos; dentro de los procesos de tratamiento convencionales del agua residual.

La eliminación de nitrógeno con este proceso puede lograrse en una o dos etapas, dependiendo de la naturaleza del agua residual, así, si el agua residual a tratar contiene el nitrógeno en forma de amoníaco, son necesarias dos etapas. En la primera, el amoníaco se convierte, por vía aerobia en Nitrato (nitrificación). En la segunda etapa, los nitratos se convierten en gas nitrógeno (desnitrificación). Ahora bien, si el nitrógeno del agua residual se encuentra en forma de nitrato, solamente se precisa la etapa de desnitrificación.

De los procesos para la eliminación del nitrógeno, el proceso de nitrificación-desnitrificación, resulta ser el mejor debido a las siguientes razones: 1) alta eficiencia de eliminación; 2) estabilidad y confiabilidad del proceso; 3) fácil control del proceso; 4) bajas necesidades de superficie y 5) coste moderado.

¹³ METCALF-EDDY. Op cit (pág. 778)

COMPARACION DE SISTEMAS ALTERNATIVOS DE NITRIFICACION		
TIPO DE SISTEMA	VENTAJAS	INCREMENTOS
PROCESO COMBINADO DE OXIDACION DE CARBON Y NITRIFICACION		
Cultivo suspendido	Tratamiento combinado de carbono y amoníaco en una sola fase posible bajo contenido de amoníaco en el efluente; control estable del líquido mezcla debido a la alta relación DBO_5/NKT	Protección nula contra tóxicos; estabilidad de operación sólo moderada; estabilidad vinculada a la operación del clarificador secundario para el retorno de la biomasa; se requieren grandes reactores en climas fríos
Cultivo fijo	Tratamiento combinado de carbono y amoníaco en una fase única; estabilidad no vinculada al clarificador secundario al estar los organismos fijados al medio.	Protección nula contra tóxicos; estabilidad de operación sólo moderada; contenido de amoníaco en el efluente generalmente entre 1 y 3 mg/l (excepto en biodiscos); funcionamiento inviable en climas fríos en la mayoría de los casos
NITRIFICACION POR FASES INDEPENDIENTES		
Cultivo suspendido	Buena protección contra la mayoría de tóxicos; operación estable; posible bajo contenido de amoníaco en el efluente	Se requiere un cuidadoso control del lodo cuando la relación DBO_5/NKT es baja; estabilidad de operación vinculada a la operación del clarificador secundario para el retorno de la biomasa; se requiere un mayor número de procesos unitarios que en la combinación de oxidación de carbón y nitrificación
Cultivo Fijo	Buena protección contra la mayoría de tóxicos; operación estable; estabilidad no vinculada al clarificador secundario al estar los organismos fijados al medio	Amoníaco en el efluente generalmente entre 1 y 3 mg/l. Se requiere un mayor número de procesos unitarios que en la combinación de oxidación de carbón y nitrificación

TABLA II-13

De los procesos para la eliminación del nitrógeno, el proceso de nitrificación-desnitrificación, resulta ser el mejor debido a las siguientes razones: 1) alta eficiencia de eliminación; 2) estabilidad y confiabilidad del proceso; 3) fácil control del proceso; 4) bajas necesidades de superficie y 5) coste moderado.

Como se expuso en el apartado correspondiente los procesos de desnitrificación pueden ser de cultivo fijo anóxico y de cultivo suspendido anóxico; los cuales a su vez pueden realizarse de dos formas distintas: 1) en reactores independientes usando como fuente adicional de carbono orgánico metanol o algún otro compuesto y 2) en sistemas combinados de oxidación del carbono y nitrificación-desnitrificación utilizando como fuente adicional de carbono orgánico aguas residuales o fuentes de carbono endógenas.

En la tabla II-14¹⁴ se presenta una comparación general de los diversos procesos de desnitrificación.

ELIMINACION DEL NITROGENO POR PROCESOS FISICOS Y QUIMICOS

Los principales procesos físicos y químicos utilizados para la eliminación del nitrógeno son: el arrastre con aire, la cloración al breakpoint y el intercambio iónico selectivo.

Separación del amoníaco por arrastre con aire (air stripping)

Este proceso, resulta ser una modificación al proceso de aireación empleado en la eliminación de gases disueltos en el agua. El planteamiento del proceso se basa en lo siguiente:

- 1) Inicialmente se tiene que, los iones de amonio se encuentran en equilibrio con el amoníaco dentro de un agua residual, luego
- 2) cuando el pH del agua residual aumenta a valores superiores a 7, el ion amonio se convierte en amoníaco, ahora bien,
- 3) el amoníaco puede extraerse como un gas al agitar el agua residual siempre en presencia de aire, lo cual puede lograrse en una torre de arrastre equipada con un aireador artificial.

Algunos de los problemas que se han suscitado en la aplicación de éste proceso han sido: formación de incrustaciones de carbonato de calcio dentro de la torre y tuberías, así como un bajo rendimiento cuando el proceso es utilizado en climas fríos.

¹⁴ METCALF-EDDY. Op. cit. (pág. 795,796)

COMPARACION DE SISTEMAS DE DESNITRIFICACION ALTERNATIVOS		
TIPO DE SISTEMAS	VENTAJAS	INCONVENIENTES
CRECIMIENTO SUSPENDIDO UTILIZANDO METANOL DESPUES DE UNA FASE DE NITRIFICACION	Rápida desnitrificación; instalaciones de pequeño tamaño; estabilidad de funcionamiento; pocas limitaciones en las operaciones de la secuencia de tratamiento; puede incorporarse fácilmente una etapa de oxidación del metanol en exceso; cada proceso puede optimizarse independientemente; es posible conseguir alto grado de eliminación de nitrógeno.	Se requiere metanol; estabilidad de funcionamiento vinculada al clarificador para el retorno de la biomasa; se precisa un mayor número de procesos unitarios para la nitrificación-desnitrificación que en sistemas combinados.
CRECIMIENTO DE CULTIVO FIJO (COLUMNA) UTILIZANDO METANOL DESPUES DE UNA FASE DE NITRIFICACION	Rápida desnitrificación; se precisan instalaciones de pequeño tamaño; estabilidad de funcionamiento demostrada; estabilidad no vinculada al clarificador al estar los organismos fijados la medio; pocas limitaciones en las opciones de la secuencia de tratamiento; posible alto grado de eliminación de nitrógeno; cada proceso del sistema puede optimizarse por separado.	Se requiere metanol; no es fácil incorporar el proceso de oxidación del metanol en exceso; se precisa un mayor número de procesos unitarios para la nitrificación-desnitrificación que en sistemas combinados.

COMPARACION DE SISTEMAS DE DESNITRIFICACION ALTERNATIVOS		
TIPO DE SISTEMAS	VENTAJAS	INCONVENIENTES
OXIDACION DEL CARBONO-NITRIFICACION COMBINADOS EN UN REACTOR DE CULTIVO SUSPENDIDO UTILIZANDO UNA FUENTE DE CARBON ENDOGENA	No se necesita metanol; se precisa un menor número de procesos unitarios.	Tasas de desnitrificación muy bajas; se precisan instalaciones de nitrógeno menor que en el sistema basado en el metanol; estabilidad de funcionamiento vinculada al clarificador para el retorno de la biomasa; opciones de la secuencia de tratamiento limitado cuando se precisa eliminar tanto N como P, no existe protección de los nitrificantes contra los tóxicos; difícil de optimizar la nitrificación y desnitrificación independientemente.
OXIDACION DEL CARBON Y NITRIFICACION COMBINADAS EN REACTOR DE CRECIMIENTO SUSPENDIDO UTILIZANDO EL AGUA RESIDUAL COMO FUENTE DE CARBONO	No se necesita metanol; se precisa menor número de procesos unitarios.	Tasas de desnitrificación muy bajas; se precisan instalaciones de nitrógeno menor que en el sistema basado en el metanol; estabilidad de funcionamiento vinculada al clarificador para el retorno de la biomasa; tendencia a la formación de bulking del lodo; opciones de la secuencia de tratamiento limitado cuando se precisa eliminar tanto N como P, no existe protección de los nitrificantes contra los tóxicos; difícil de optimizar la nitrificación y desnitrificación independientemente.

TABLA II-14

Cloración al breakpoint

Este proceso consiste en la adición de una cantidad suficiente de cloro al agua a tratar, de manera de oxidar el nitrógeno amoniacal en disolución a gas nitrógeno y otros compuestos estables.

Este proceso presenta dos ventajas fundamentales en su aplicación: 1) con un adecuado control y homogeneización del caudal; puede eliminarse totalmente el nitrógeno amoniacal presente; 2) simultáneamente se consigue la desinfección del agua.

Este proceso puede utilizarse para la eliminación del nitrógeno amoniacal de los efluentes de las plantas de tratamiento, tanto en forma independiente como en combinación con otros procesos. A causa de los problemas de toxicidad potencial que pueden crearse por la descarga de compuestos clorados al medio ambiente, es necesario dechlorar el efluente.

Intercambio iónico

El intercambio iónico es un proceso unitario por medio del cual se ponen en contacto un material sólido y una sustancia líquida, insolubles entre sí; buscando que los iones contenidos en el material sólido sean desplazados por los iones contenidos en solución en la sustancia líquida.

Dentro de el tratamiento de las aguas residuales, las operaciones de intercambio iónico pueden ser de tipo continuo o discontinuo. En un proceso continuo, el material del intercambio es dispuesto en un lecho o una torre por donde el agua se hace circular. En un proceso discontinuo, el material de intercambio se agita con el agua a tratar dentro de un reactor, luego se deja sedimentar y se extrae con el fin de ser regenerado y reutilizado.

Los materiales de intercambio utilizados en el tratamiento del agua residual pueden ser resinas de origen natural o sintético; aunque se prefieren estas últimas debido a su durabilidad.

Se ha suscitado un grave problema en la aplicación de este proceso a los efluentes de algún proceso de tratamiento biológico, donde se ha observado el aglutinamiento de la resina, causado por la materia orgánica residual. Este problema puede ser aminorado si se filtra previamente el agua residual, o bien, si se utilizan resinas intercambiadoras eliminadoras, antes de la aplicación del proceso.

Para reducir costos en la aplicación de este proceso, se deben buscar productos regeneradores y restauradores para las resinas agotadas, que eliminen tanto los aniones inorgánicos como la materia orgánica. Los restauradores físicos y químicos que ofrecen los mejores resultados con hidróxido de sodio, ácido clorhídrico, metanol y bentonita.

ELIMINACION DEL FOSFORO

El agua residual doméstica y el agua de drenaje de zonas agrícolas son las principales fuentes de fósforo.

El fósforo contenido en el agua residual puede presentarse en tres formas: ortofosfato, polifosfato y fósforo orgánico. El fósforo contenido en las aguas residuales tiene su origen en los residuos del cuerpo humano, en los vertidos de residuos alimenticios vertidos a las alcantarillas, en los compuestos de lavado y limpieza comercial.

Operaciones y procesos para la eliminación del fósforo

Por medio de procesos convencionales de tratamiento del agua residual, aproximadamente el 10 % del fósforo correspondiente a la parte insoluble puede ser eliminado por decantación primaria. Por medios biológicos convencionales, solamente una cantidad mínima de fósforo contenido en el tejido celular puede ser eliminada.

Ninguna de las formas de fósforo presente en el agua residual es gaseosa a temperaturas y presiones normales, de ahí que para su eliminación sea necesario conseguirse la formación de un precipitado insoluble que pueda ser eliminado por gravedad en un proceso de sedimentación. Para formar dicho precipitado es necesaria la adición de productos químicos tales como: cal, sulfato de alúmina o bien cloruro o sulfato férrico. También se pueden emplear polímeros conjuntamente con cal y sulfato de alúmina.

El punto de aplicación de los productos químicos dentro del tren de tratamiento, puede variar ampliamente, pero en forma general se dice que la adición de sales de aluminio o hierro después del tratamiento secundario, suele dar los mejores resultados.

Dentro de la tabla II-15¹⁵ se plantean las ventajas e inconvenientes de la eliminación de fósforo por adición de productos químicos en diversos puntos del tren de tratamiento.

ELIMINACION DE MATERIA ORGANICA REFRACTARIA

La eliminación de los compuestos de materia orgánica refractaria que no pudieron ser transformados durante el tratamiento biológico convencional, pueden ser eliminados mediante procesos tales como la adsorción sobre carbón activo, oxidación o mediante su aplicación al terreno.

¹⁵ METCALF-EDDY. Op. cit. (pág. 822)

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ELIMINACION DE FOSFORO EN DIVERSOS PUNTOS DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO		
NIVEL DE TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
PRIMARIO	Aplicable a la mayoría de las plantas; eliminación superior de DBO y de sólidos suspendidos; mínimo trato de pérdidas de producto químico; posibilidad demostrada de recuperación de la cal.	Mínima eficiencia del uso del metal de producto químico; pueden requerirse polímeros para la floculación; lodo más difícil de deshidratar que el primario.
SECUNDARIO	Mínimo coste; menores dosis de productos químicos que el primario; mejora de la estabilidad del lodo activado; no se precisan polímeros.	La sobredosis de metal puede causar la toxicidad a bajo pH; con aguas residuales de baja alcalinidad, puede ser necesario un sistema de control del pH; no puede utilizar la cal a causa del excesivo pH; sólidos inertes añadidos al líquido mezcla del lodo activado, reduciendo el porcentaje de sólidos volátiles.
AVANZADO (TERCIARIO)	Mínimo fósforo en el efluente; máxima eficacia del uso del producto químico; recuperación de cal demostrada.	Máximo coste de inversión; máxima pérdida de metal del producto químico.

TABLA II-15

Adsorción sobre carbón

Este método es el mas utilizado para la eliminación de los compuestos refractarios del agua residual.

El proceso de adsorción sobre carbón activo no había sido utilizado extensivamente en el tratamiento de las aguas residuales, sin embargo, las investigaciones llevadas a cabo al respecto resultan muy prometedoras. Este proceso, suele considerarse en el tratamiento del agua residual como una fase de pulido final de calidad de un agua tratada por medio de procesos de tratamiento biológico, en cuyo caso, tiene la función de eliminar parte de la materia orgánica residual disuelta. Sin embargo, el tratamiento completo con carbón activo está siendo estudiado, como un posible sustituto del tratamiento biológico de las aguas residuales municipales.

Oxidación química

Dentro del tratamiento avanzado del agua residual, la oxidación química se utiliza para eliminar el amoníaco, reducir la concentración de materia orgánica residual y el contenido bacteriano y vírico de las aguas residuales.

Para reducir la materia orgánica residual puede emplearse tanto el cloro como el ozono, los que además ofrecen la ventaja adicional de la desinfección. Este proceso puede mejorarse si se emplea radiación ultravioleta.

La eliminación del nitrógeno amoniacal suele llevarse a cabo por medio de cloración, sin embargo, un problema asociado a este proceso consiste en que cuando se tienen presente en el agua residual compuestos orgánicos e inorgánicos, éstos provoca una demanda adicional de cloro.

ELIMINACION DE SUSTANCIAS INORGANICAS DISUELTAS

Los procesos físicos que se mencionan a continuación, aunque resultan ser técnicamente realizables, otros factores como el costo, necesidades operacionales y consideraciones estéticas se oponen a su uso.

Precipitación química

Este proceso es comúnmente utilizado para la precipitación del fósforo contenido en el agua residual, mediante la adición de coagulantes, tales como el sulfato de alúmina, cal o sales de hierro y polielectrolitos. Aunado a la eliminación del fósforo también se produce la eliminación de diversos iones orgánicos, principalmente metales pesados.

Uno de los inconvenientes de la aplicación de éste proceso es que se da un intercambio neto de los sólidos disueltos totales en el agua residual tratada.

Intercambio iónico

Como se expuso con anterioridad, este proceso se basa en que los iones de una especie dada son desplazados de un material insoluble de intercambio por iones de una especie en disolución.

El uso más extendido de este proceso se da en el ablandamiento del agua doméstica, en que los iones sodio procedentes de una resina de intercambio catiónica, sustituyen a los iones magnesio y calcio presentes en el agua, reduciendo por tanto su dureza. También este proceso puede utilizarse para la reducción de los sólidos totales disueltos, donde se utilizan resinas de intercambio catiónicas y aniónicas, en las cuales los sólidos disueltos son reemplazados por iones de hidrógeno e hidróxilo que reaccionan entre sí para formar moléculas de agua.

Los intercambiadores de iones, generalmente, del tipo de columna de lecho compacto de flujo descendente. No todos los iones disueltos se eliminan por igual, cada resina se caracteriza por una selectividad de eliminación.

El proceso de desmineralización puede tener lugar en columnas de intercambio independientes, dispuestas en serie, o ambas resinas mezcladas en un reactor único.

Utilizando este proceso para el tratamiento de agua de abastecimiento, se han logrado eficiencias de eliminación de sólidos totales disueltos del 90 al 99%, utilizando sistemas convencionales de intercambiadores de dos etapas. Incluso son posibles eliminaciones mayores con intercambiadores de lecho mezclado.

Osmosis inversa

La osmosis invesa es un proceso mediante el cual se pueden eliminar ciertas sustancias contenidas en solución en el agua, por medio de la filtración de la misma a través de una membrana semipermeable, a una presión mayor que la osmótica. Este proceso es utilizado para la eliminación de ciertas sales disueltas contenidas en el agua residual. Este procesos de una de las diversas técnicas de desmineralización aplicables a la producción de agua de calidad adecuada para su reutilización.

Sin embargo, este proceso tiene sus limitaciones, ya que el agua residual a ser tratada mediante este proceso, deberá recibir un tratamiento previo, tal como adsorción sobre carbón activo o precipitación química, seguido de alguna de las formas conocidas de filtración, para eliminar la materia orgánica y coloidal, que de lo contrario ocasionarían baja eficiencia de producción de agua, al acumularse y taponear los poros de la membrana. Este proceso no es recomendable para aguas que contengan sales de niveles bajos de solubilidad, ya que éstas se precipitan sobre la membrana, provocando la reducción de su tasa de producción. La eliminación del hierro y magnesio también es, algunas veces, necesaria para disminuir el potencial de incrustaciones; también el pH deberá ajustarse entre 4 y 7.5 para impedir la formación de incrustaciones.

Electrodialisis

Por medio de este proceso, los componentes iónicos de una solución, son separados por medio del uso de membranas con semipermeabilidad selectiva de iones. La aplicación de un potencial eléctrico entre los dos electrodos, causa una corriente eléctrica que atraviesa la solución, la cual, a su vez, origina una migración de cationes hacia el electrodo negativo y de aniones hacia el electrodo positivo. Dado el espaciamiento alternado de las membranas permeables a los cationes y aniones, se forman células de sales concentradas y diluidas.

Existen algunos problemas derivados de la aplicación de este proceso en el tratamiento del agua residual, los cuales incluyen la precipitación química de sales de poca solubilidad en la superficie de la membrana y la obstrucción de la membrana por la materia orgánica coloidal

residual presente en el agua residual. Para evitar la obturación de las membranas, se recomienda dar un tratamiento previo al agua con carbón activo, precedido por algún otro tipo de proceso tal como precipitación química y filtración.

II.3.2 DISPOSICION DE LOS CONTAMINANTES

Hasta este momento unidamente se han presentado los métodos de tratamiento del agua residual: resulta pertinente, sin embargo, exponer los métodos de evacuación final de los contaminantes producto de la aplicación de dichos procesos, al tratamiento de aguas residuales. En la tabla II-3⁷ aparecen los principales métodos aplicados a la evacuación final de dichos contaminantes.

En forma general y de acuerdo a la tabla II-15¹⁶, se dice que existen tres grandes grupos de sistemas de evacuación: a) vertido directo al mar y/o al terreno; b) tratamiento y conversión de subproductos previo vertido al mar y/o al terreno; 3) tratamiento y conversión previo con recuperación de productos, para luego vertido al terreno y/o al mar.

II.4 SISTEMAS DE TRATAMIENTO POR APLICACION AL TERRENO

Los sistemas de tratamiento por aplicación al terreno, se basan en los efectos combinados de las plantas, la superficie y las capas del suelo, para la eliminación de los contaminantes presentes en las aguas residuales a tratar.

Los principales procesos de tratamiento de aguas residuales por aplicación al terreno son: 1) El riego; 2) La infiltración rápida y 3) Las corrientes superficiales. Otros procesos de uso menos extendidos por ser aplicables a proyectos de pequeña escala, incluyen la aplicación a tierras pantanosas, la aplicación subsuperficial y la acuicultura.

Mecanismos de tratamiento

La superficie y perfil del suelo pueden proporcionar el tratamiento físico y químico del agua residual, a la vez que un hábitat propicio para los microorganismos que pueden promover el tratamiento biológico. También los sistemas de aplicación al terreno poseen la capacidad de eliminar materia orgánica, nitrógeno, fósforo, cationes intercambiables, elementos a nivel traza y microorganismos presentes en el agua residual; pero esto estará superditado por una gran variedad de factores.

¹⁶ METCALF-EDDY. Op. cit. (pág. 830)

METODOS PARA LA DISPOSICION DE CONTAMINANTES	
METODO	OBSERVACIONES
LIQUIDO	
Estanques de evaporación Extensión sobre el terreno Inyección en pozo poco profundo Inyección en pozo profundo Relleno Sanitario Evaporación controlada Vertido al mar	Se tendrá cuidado en evitar la contaminación del agua subterránea. Se tendrá cuidado en evitar la contaminación del agua subterránea. Se tendrá cuidado en evitar la contaminación del agua subterránea. Deberá haber cavidades artificiales, naturales o estratos porosos. Líquido utilizado como agente humectante para aumentar la compactación. Depende del volumen del líquido, costes de energía y condiciones locales. Es necesario el transporte mediante camiones, ferrocarril o tuberías.
LODO	
Extensión sobre el terreno Lagunas Relleno Sanitario Recuperación de productos Combustión por vía húmeda Incineración Disposición al mar	El lodo debe pretratarse para facilitar la deshidratación o eliminar los componentes desagradables. Se tendrá cuidado en evitar la contaminación del agua subterránea. Se usa el lodo como agente humectante para aumentar la compactación. Depende de las características del lodo, tecnología de la recuperación y costes. Se recupera el valor térmico para su aplicación. Necesaria la eliminación de cenizas. Necesaria la concentración del lodo. Se requiere la eliminación de la cenizas. Quizás se prohíba en el futuro.
CENIZA	
Relleno Sanitario Acondicionador de suelos Evacuación al mar	Mezclada con basuras para aumentar la densidad compactada. Depende de las características del residuo. Quizá se prohíba en el futuro.

TABLA II-16

Materia orgánica. El suelo proporciona un sistema de tratamiento biológico muy efectivo en la eliminación de la materia orgánica. Esta es filtrada por la hierba y la capa superficial del suelo, y es reducida por oxidación biológica. Dado que las altas cargas orgánicas pueden crear condiciones anaerobias en las capas del suelo y darse por consecuencia la formación de olores, debe utilizarse un ciclo de cargas intermitentes. Ello permite que el aire penetre en el suelo y suministre oxígeno a las bacterias que oxidan la materia orgánica.

Nitrógeno. El nitrógeno puede eliminarse en la aplicación al terreno por medio de los efectos de incorporación al cultivo y/o por desnitrificación, dependiendo del tipo de sistema de aplicación al terreno de que se trate, predominará alguno de los dos efectos.

Fósforo. Los procesos principales de eliminación del fósforo en sistemas de aplicación al terreno son la precipitación y adsorción química, aunque también es importante la adsorción de ciertas cantidades por medio de las plantas.

Elementos a nivel traza. Muchos de los elementos a nivel traza son esenciales para el crecimiento de las plantas, pero algunos resultan tóxicos a concentraciones altas tanto para las plantas como para los microorganismos. La retención en las capas del suelo de los elementos traza, especialmente los metales pesados, se produce a través de la sorción (adsorción y precipitación) y del intercambio iónico.

Microorganismos. Los mecanismos de eliminación de las bacterias comunes a la mayoría de los métodos de aplicación al terreno incluyen la retención, muerte, sedimentación, atrapamiento y la adsorción. En los sistemas de riego por aspersion, algunas bacterias son interceptadas por la vegetación, donde son eliminadas por desecación, muerte y la acción de los depredadores.

Acción de la vegetación

Las plantas son utilizadas en los sistemas de aplicación al terreno para los siguientes fines: 1) captar el nitrógeno y el fósforo del agua residual aplicada; 2) mantener e incrementar las tasas de filtración de agua y la permeabilidad del suelo; 3) reducir la erosión; 4) servir como medio para los microorganismos (circulación superficial en lámina) y 5) su uso principal en los sistemas de regadío consiste en la eliminación de nutrientes.

Salud pública

Los riesgos sanitarios asociados con la aplicación del agua residual al terreno son: 1) posible transmisión de enfermedades por agentes bacteriológicos; 2) filtración de productos químicos hasta el agua subterránea, lo cual plantea riesgos para la salud si son ingeridos y 3) degradación de la calidad de los cultivos regados con este tipo de aguas.

1) RIEGO

Es el proceso de aplicación al terreno más utilizado actualmente, ya que ha reportado los mejores resultados en términos de seguridad y calidad del agua tratada. Consiste en la aplicación del efluente al terreno para su tratamiento y para adicionar ciertos compuestos para el desarrollo y crecimiento de las plantas. El agua residual es captada por las plantas, evaporada parcialmente (evapotranspiración) y filtrada a través del suelo. El agua aplicada sufre un tratamiento por medios físicos, químicos y biológicos al filtrarse en el suelo. Puede ser aplicada tanto a los cultivos como a la vegetación, utilizando técnicas de riego como la aspersión o alguna otra técnica de riego superficial.

Los beneficios que pueden lograrse de la aplicación del agua residual al terreno utilizando los sistemas de riego son: 1) tratamiento del agua residual aplicada, 2) aprovechamiento económico del agua y sus nutrientes para la producción de cultivos comercializables, 3) conservación y mantenimiento de los recursos acuíferos y 4) preservación y desarrollo de zonas verdes y espacios abiertos.

Requisitos de tratamiento previo

El grado de tratamiento requerido antes de la aplicación del agua residual al terreno depende de numerosos factores, entre ellos las normas de salud pública respectivas, la carga aplicada (referida a las características críticas del agua residual) y el sistema de riego de cultivos estará basado en las normas sanitarias respectivas, tipo de cultivo, uso a que se destine el producto, el grado de contacto entre la población y el agua de riego y el sistema de riego empleado.

2) INFILTRACION RAPIDA

Los sistemas de infiltración rápida se basan en la aplicación del agua al suelo a tasas elevadas (de 100 a 210 cm/semana). La mayoría del agua residual aplicada se filtra a través del suelo, y el efluente tratado llega, finalmente, hasta el agua subterránea. El agua residual suele aplicarse a suelos altamente permeables, tales como arenas y arenas limosas, utilizando métodos como la extensión en lagunas o por aspersión. Al igual que en los sistemas de riego, el agua es tratada al atravesar la matriz de suelo.

Las principales aplicaciones de este sistema son:

- a) Tratamiento del agua residual.
- b) Recarga de acuíferos.
- c) Recuperación del agua renovada por pozos o drenes para la **reutilización** o su disposición subsiguiente.
- d) Recarga de corrientes superficiales por flujo subsuperficial natural.
- e) Almacenamiento temporal del agua renovada en el acuífero.

Requisitos de tratamiento previo

De manera general, la reducción de los sólidos suspendidos es el criterio de tratamiento previo más importante para los sistemas de infiltración rápida, lo cual tiene como objetivo primordial evitar al máximo la obstrucción de los poros del suelo y el desprendimiento de malos olores. En muchos casos se utiliza el tratamiento biológico con este propósito.

La infiltración rápida reduce eficazmente el número de bacterias patógenas, por lo que la desinfección previa no es necesaria, excepto, para sistemas de aspersión.

3) RIEGO POR CIRCULACION SUPERFICIE EN LAMINA

Este sistema consiste en la aplicación del agua residual sobre las zonas superiores de terrazas dispuestas con pendiente, fluyendo a través de la superficie vegetada hasta las zanjas de recogida de los volúmenes de escorrentía. La eliminación de los contaminantes del agua residual se logra por una conjugación de efectos físicos, químicos y biológicos que se lleva a cabo en la lámina superior de la superficie de escorrentía; la cual, además se caracteriza por ser relativamente impermeable.

Los objetivos del riego por circulación superficial en lámina son: 1) el tratamiento del agua residual (en menor medida), 2) la producción de cultivos, 3) producción de pastos de forraje y 4) preservación de zonas verdes y espacios abiertos.

Son amplios los alcances de tratamiento que pueden lograrse por medio de la aplicación de este sistema de riego. Puede, por consecuencia obtenerse un efluente secundario o de calidad mejorada, a partir de un efluente de un procesos primario o de lagunas. También pueden conseguirse altos niveles de eliminación de nitrógeno y DBO comparables con los obtenidos con tratamientos avanzados convencionales. El agua tratada es recogida y puede dársele un nuevo uso, o bien, disponerse a algún cuerpo de agua superficial.

Requisitos de tratamiento previo

Cuando se utiliza este sistema de riego para dar un nivel secundario de tratamiento, el influente deberá contar con un nivel previo de tratamiento, el cual como mínimo deberá estar formado por el desbaste y la eliminación de arenas y grasas para evitar el taponamiento de los sistemas de distribución. Cuando el influente aplicado es desinfectado previa su aplicación, podrá ser usado cualquier sistema de distribución.

4) OTROS SISTEMAS

Existen otros sistemas de reciente investigación, los cuales han reportado muy buenos resultados, tales como el uso de tierras pantanosas artificiales, naturales y turberas, en el tratamiento de aguas residuales municipales. Dado que se ha demostrado que los organismos acuáticos (animales y vegetales), pueden utilizarse para tratar el agua residual, se cree que en un futuro podrán utilizarse organismos acuáticos tanto para el tratamiento de las aguas residuales, como con fines de acuicultura (producción de fibras y alimentos aprovechables).

II.4.1 APLICACION DEL LODO AL TERRENO

Los objetivos principales de la aplicación del lodo al terreno son: 1) su disposición como producto residual y 2) el uso de nutrientes y materia orgánica como fertilizante en cultivos y regenerador del suelo.

El método de aplicación del lodo al terreno dependerá del estado físico en que éste encuentre, así se tiene que el lodo líquido puede aplicarse por métodos similares a los utilizados para la aplicación del agua residual, por ejemplo: aspersores, sistema de surcos o pueden ser extendidos directamente mediante camiones cisterna. La aplicación del lodo en estado líquido es muy atractiva dada su simplicidad, ya que no se precisa la deshidratación y pueden usarse sistemas económicos de transporte. La aplicación del lodo deshidratado es similar a la de un abono animal semisólido, lo cual constituye una gran ventaja, ya que las granjas privadas podrían hacer la aplicación directa sobre tierras usando sus propios equipos.



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS INSTITUCIONALES

DIPLOMADO EN TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, MUNICIPALES, INDUSTRIALES Y DE REUSO.

**MOD. II PRINCIPIOS DE POTABILIZACIÓN DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Del 31 de agosto al 08 de septiembre de 2001

ANEXOS

M. en C. Constantino Gutiérrez Palacios
Comisión Nacional del Agua
Agosto – septiembre /2001



DEG
PALACIOS DE INGENIERIA



MÓDULO II
PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES

M.C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS

Septiembre 2001

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

- **Definiciones Básicas**
- **Niveles de Tratamiento**
- **Objetivos de Tratamiento**
- **Formas de Disposición de las Aguas Tratadas**
- **Estudios previos para la Elaboración de un Proyecto de un Sistema de Tratamiento**
- **Clasificación de los Métodos de Tratamiento**
- **Operaciones y Procesos Unitarios**
- **Procesos de Tratamiento Aerobio de Cultivo en Suspensión**
- **Procesos de Tratamiento Aerobio de Cultivo fijo o adherido**
- **Procesos de Tratamiento Anaerobio de Cultivo en Suspensión**
- **Procesos de Tratamiento Anaerobio de Cultivo fijo o adherido**
- **Tratamiento y Disposición de Lodos**

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Definiciones Básicas

Aguas Residuales

“Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellos” (NOM:001-ECOL-1996).

Aguas que son producto del uso de agua potable o limpia a la cual se le ha agregado elementos, compuestos, sustancias, materias o energía que modifican sus características físicas, químicas o bacteriológicas, que alteran negativamente su calidad.

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Definiciones Básicas

Tratamiento de Aguas Residuales

Es la aplicación de operaciones y procesos unitarios al agua residual, para reducir la concentración de contaminantes a niveles aceptables que asegure el resguardo de la salud humana, la calidad del medio y el ambiente.

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Definiciones Básicas

Aguas Residuales Urbanas o Municipales

“ Aquellas que resultan de la combinación de aguas residuales domésticas, comerciales y de servicios públicos o privados, así como industriales en el caso de que los procesos que las generen se localicen en centros de población y se viertan a un sistema de drenaje y alcantarillado operado por la autoridad competente”.

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Definiciones Básicas

Aguas Residuales Industriales o de Servicios

“ Aquellas que provienen de los procesos de extracción, beneficio, transformación, generación de bienes de consumo o de sus actividades complementarias, y del propio tratamiento de aguas residuales”.

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Niveles de Tratamiento de Aguas Residuales

Más completo



Pretratamiento

Tratamiento primario

Tratamiento secundario

Tratamiento terciario

Más costoso



PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Objetivos del Tratamiento

➤ **Generales**

- Resguardar la salud humana
- Proteger la vida animal y vegetal
- Resguardar la calidad del medio y del ambiente
- Reusar las aguas tratadas
- Sustituir agua potable por agua residual tratada en usos distintos al consumo humano

➤ **Específicos**

Depende de:

- La calidad que se desee lograr
- El presupuesto disponible
- La tecnología disponible
- El grado de capacitación del personal operativo
- Los límites máx. permisibles establecidos en las normas

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Formas de Disposición de las Aguas Tratadas

➤ ***Dilución en aguas superficiales:***

- En corrientes
- En cuerpos de agua

➤ ***Riego Superficial***

- Cultivos
- Áreas verdes

➤ ***Infiltración al subsuelo***

➤ ***Evaporación***

➤ ***Reuso***

- Riego
- Industria
- Acuicultura
- Recreación
- Industria de la construcción
- Lavado de autos

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Estudios previos para la Elaboración de un Proyecto

- Determinación de los objetivos del tratamiento
- Pruebas de tratabilidad
- Análisis hidrológico general
- Análisis geológico general
- Análisis y evaluación de alternativas de procesos de tratamiento
- Selección del proceso de tratamiento
- Predimensionamiento del sistema de tratamiento
- Estudio topográfico
- Estudio de mecánica de suelos

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Clasificación de los Métodos de Tratamiento

- Operaciones Físicas Unitarias.- Métodos de tratamiento en los que predomina la aplicación de los fenómenos físicos.
- Procesos Químicos Unitarios.- Métodos de tratamiento en los cuales es acelerada la eliminación o conversión de los contaminantes, por la adición de productos químicos.
- Procesos Biológicos Unitarios.- Métodos de tratamiento en los que se consigue la eliminación de los contaminantes, mediante la acción biológica.
- Procesos Combinados.- Mezcla de los anteriores

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Operaciones y Procesos Unitarios

Operaciones Unitarias:

- **Desbaste.**- Eliminación de sólidos gruesos y sedimentables por intercepción (retención en superficie)
- **Dilaceración.**- Trituración de sólidos gruesos hasta conseguir un tamaño más o menos uniforme
- **Homogeneización del caudal.**- Regulación del caudal y de las cargas de DBO y de sólidos en suspensión
- **Mezclado.**- Mezcla de los reactivos químicos y gases con el agua residual residual para mantener los sólidos en suspensión
- **Floculación.**- Agregación de pequeñas partículas aumentando el tamaño de las mismas, para mejorar su eliminación por sedimentación
- **Sedimentación.**- Eliminación de sólidos sedimentables y espesamiento de lodos
- **Flotación.**- Eliminación de los sólidos en suspensión finamente divididos y de partículas con densidades cercanas a las del agua. También espesa los lodos biológicos
- **Filtración.**- Eliminación de los sólidos finos en suspensión que permanezcan tras el tratamiento biológico o químico.

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Operaciones y Procesos Unitarios

Procesos Químicos Unitarios:

- **Precipitación química.**- Eliminación de fósforo y aumento de la eliminación de sólidos en suspensión en instalaciones de sedimentación primaria utilizadas en el tratamiento fisicoquímico.
- **Transferencia de gases.**- Adición y eliminación de gases.
- **Adsorción.**- Eliminación de materia orgánica no eliminada por métodos de tratamiento químicos y biológicos convencionales. También utilizada para la decoloración de agua residual antes del vertido final del efluente tratado.
- **Desinfección.**- Eliminación de los organismos causantes de enfermedades (puede realizarse de diversas maneras).
- **Desinfección con cloro.**- Eliminación de los organismos causantes de enfermedades. El cloro es el producto químico más comúnmente usado.
- **Decoloración.**- Eliminación del cloro combinado residual total remanente después de la cloración (puede realizarse de diversas maneras).
- **Desinfección con ozono.**- Destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades.
- **Otros.**- Pueden usarse diversos productos químicos para llevar a cabo objetivos específicos en el tratamiento del agua residual.

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Operaciones y Procesos Unitarios

Procesos Biológicos Unitarios:

- **Cultivo en suspensión.**- Procesos de tratamiento en los que los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes del agua residual, se encuentran en suspensión en el líquido.
- **Cultivo fijo (película fija).**- Procesos de tratamiento en los que los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes del agua residual, se encuentran fijos en un medio inerte tal como piedras, escorias o materiales cerámicos o plásticos, diseñados para tal fin.
- **Procesos combinados.**- Mezcla de los anteriores.

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Operaciones y Procesos Unitarios

Operaciones Unitarias:

- **Desbaste.**- Eliminación de sólidos gruesos y sedimentables por intercepción (retención en superficie)
- **Dilaceración.**- Trituración de sólidos gruesos hasta conseguir un tamaño más o menos uniforme
- **Homogeneización del caudal.**- Regulación del caudal y de las cargas de DBO y de sólidos en suspensión
- **Mezclado.**- Mezcla de los reactivos químicos y gases con el agua residual residual para mantener los sólidos en suspensión
- **Floculación.**- Agregación de pequeñas partículas aumentando el tamaño de las mismas, para mejorar su eliminación por sedimentación
- **Sedimentación.**- Eliminación de sólidos sedimentables y espesamiento de lodos
- **Flotación.**- Eliminación de los sólidos en suspensión finamente divididos y de partículas con densidades cercanas a las del agua. También espesa los lodos biológicos
- **Filtración.**- Eliminación de los sólidos finos en suspensión que permanezcan tras el tratamiento biológico o químico.

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Operaciones y Procesos Unitarios

Procesos Químicos Unitarios:

- **Precipitación química.**- Eliminación de fósforo y aumento de la eliminación de sólidos en suspensión en instalaciones de sedimentación primaria utilizadas en el tratamiento fisicoquímico.
- **Transferencia de gases.**- Adición y eliminación de gases.
- **Adsorción.**- Eliminación de materia orgánica no eliminada por métodos de tratamiento químicos y biológicos convencionales. También utilizada para la decoloración de agua residual antes del vertido final del efluente tratado.
- **Desinfección.**- Eliminación de los organismos causantes de enfermedades (puede realizarse de diversas maneras).
- **Desinfección con cloro.**- Eliminación de los organismos causantes de enfermedades. El cloro es el producto químico más comúnmente usado.
- **Decoloración.**- Eliminación del cloro combinado residual total remanente después de la cloración (puede realizarse de diversas maneras).
- **Desinfección con ozono.**- Destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades.
- **Otros.**- Pueden usarse diversos productos químicos para llevar a cabo objetivos específicos en el tratamiento del agua residual.

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Operaciones y Procesos Unitarios

Procesos Biológicos Unitarios:

- **Cultivo en suspensión.-** Procesos de tratamiento en los que los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes del agua residual, se encuentran en suspensión en el líquido.
- **Cultivo fijo (película fija).-** Procesos de tratamiento en los que los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes del agua residual, se encuentran fijos en un medio inerte tal como piedaras, escorias o materiales cerámicos o plásticos, diseñados para tal fin.
- **Procesos combinados.-** Mezcla de los anteriores.

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Procesos de Tratamiento Aerobio de Cultivo en suspensión

➤ Lodos Activados

- Convencional flujo en pistón
- Tanque de mezcla completa
- Aereación graduada
- Oxígeno puro
- Aereación modificada
- Contacto y estabilización
- Aereación prolongada
- Canales de oxidación



Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)

➤ Nitrificación de cultivos en suspensión



Nitrificación

➤ Lagunas aereadas



Elim. de la DBO carbonosa (Nitrificación)

➤ Digestión aerobia



Estabilización, elim. de la DBO carbonosa

➤ Estanques de estabilización aerobia



Elim. de la DBO carbonosa

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

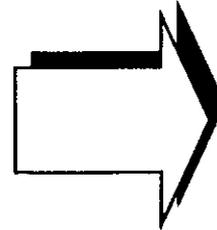
Procesos de Tratamiento Aerobio de Cultivo fijo o adherido

- Filtros percoladores
 - Baja carga
 - Alta carga
 - Filtros de pretratamiento
 - Sistemas biológicos rotatorios de contacto (Biodiscos)
 - Reactores de lecho compacto
- ➔ Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
- ➔ Eliminación de la DBO carbonosa
- ➔ Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
- ➔ Nitrificación

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Procesos de Tratamiento Aerobio Combinados

- Filtros percoladores - lodos activados
- Lodos activados - filtros percoladores



Eliminación
de la DBO
carbonosa
(nitrificación)

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Procesos de Tratamiento Anaerobio de Cultivo en suspensión

➤ Digestión anaerobia

- Baja carga, una etapa
- Alta carga, una etapa
- Doble etapa



Estabilización, eliminación
de la DBO carbonosa

➤ Proceso anaerobio de contacto



Eliminación de la
DBO carbonosa

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Procesos de Tratamiento Anaerobio de Cultivo fijo o adherido

- Filtro anaerobio  Eliminación de la DBO carbonosa, estabilización (desnitrificación)
- Lagunas anaerobias (estanques)  Eliminación de la DBO carbonosa (estabilización)

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tratamiento y Disposición de Lodos

Métodos de Tratamiento y Disposición de Lodos:

➤ *Operaciones de Pretratamiento*

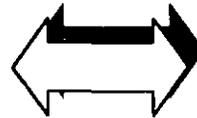
- Trituración
- Desarenado
- Mezclado
- Almacenamiento



Reducción de tamaño
Eliminación de arenas
Mezclado
Almacenamiento

➤ *Espesamiento*

- Por gravedad
- Por flotación
- Por centrifugación



Reducción de volumen

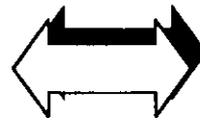
PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tratamiento y Disposición de Lodos

Métodos de Tratamiento y Disposición de Lodos:

➤ *Estabilización*

- Oxidación con cloro
- Estabilización con cal
- Tratamiento térmico
- Digestión anaerobia
- Digestión aerobia



Estabilización
Estabilización
Estabilización
Estabilización, red. de masa
Estabilización, red. de masa

➤ *Acondicionamiento*

- Acond. Químico
- Elutriación
- Tratamiento cabeza



Acondicionamiento del lodo
Lixiviación
Acondicionamiento del lodo

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tratamiento y Disposición de Lodos

Métodos de Tratamiento y Disposición de Lodos:

➤ *Desinfección*

- Desinfección



Desinfección

➤ *Deshidratación*

- Filtro de vacío
- Filtro prensa
- Filtro de banda horizontal
- Centrífuga
- Era de secado
- Laguna



Reducción de volumen
Reducción de volumen
Reducción de volumen

Reducción de volumen
Reducción de volumen
Almacenamiento, reduc.
de volumen

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tratamiento y Disposición de Lodos

Métodos de Tratamiento y Disposición de Lodos:

➤ **Secado**

- Instantáneo
- Por pulverización
- En horno rotatorio
- En horno de pisos múltiples



Reducción de peso/volumen
Reducción de peso/volumen
Reducción de peso/volumen
Reducción de peso/volumen

➤ **Compostaje**

- Compostaje (solo lodo)
- Compostaje combinado con residuos sólidos



Recuperación de productos, reducción de volumen
Recuperación de productos, reducción de volumen

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tratamiento y Disposición de Lodos

Métodos de Tratamiento y Disposición de Lodos:

➤ *Reducción térmica*

- Horno de pisos múltiples
- Horno de lecho fluidificado
- Combustión instantánea
- Coincineración con R.S.
- Copirólisis con R.S.
- Oxidación por vía húmeda



Red. de vol., recup. de calor
Reducción de volumen
Reducción de volumen
Reducción de volumen
Red. de vol., recup. de calor
Reducción de volumen

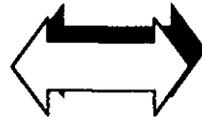
PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tratamiento y Disposición de Lodos

Métodos de Tratamiento y Disposición de Lodos:

➤ *Disposición*

- A vertedero
- Aplicación al terreno
- Regeneración de tierras
- Reutilización

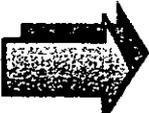
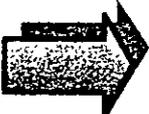


Evacuación final
Evacuación final
Evacuación final,
regeneración del terreno
Evacuación final,
regeneración del terreno

PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Niveles de Tratamiento de Aguas Residuales

Es el nivel de calidad de las aguas que se obtiene al aplicar operaciones y procesos unitarios. Convencionalmente, los niveles de tratamiento se clasifican en:

- *Pretratamiento*  Reducción de sólidos en suspensión o acond. de las aguas residuales para su descarga o tratamiento secundario
- *Tratamiento primario*  Eliminación de sólidos en suspensión y materiales flotantes
- *Tratamiento secundario*  Comprende los tratamientos biológicos convencionales
- *Tratamiento terciario*  Eliminación de contaminantes que no se eliminan con los tratamientos biológicos convencionales