

CAPÍTULO IV. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.

4.1. GENERALIDADES.

Entre las técnicas de bajo costo en el campo del tratamiento de aguas residuales, los sistemas lagunares son los que han encontrado mayor aplicación.

Las primeras lagunas de estabilización fueron en realidad embalses construidos como sistemas reguladores de agua para riego. Se almacenaban los excedentes de agua residual utilizada en riegos directos, sin tratamiento previo. En el curso de este almacenamiento se observó que la calidad del agua mejoraba sustancialmente, por lo que empezó a estudiarse la posibilidad de utilizar las lagunas como método de tratamiento de aguas residuales.

Las lagunas de estabilización son el método más simple de tratamiento de aguas residuales que existe. Están constituidos por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra. Generalmente tiene forma rectangular o cuadrada.

Las lagunas tienen como objetivos:

1. Remover de las aguas residuales la materia orgánica que ocasiona la contaminación.
2. Eliminar microorganismos patógenos que representan un grave peligro para la salud.
3. Utilizar su efluente para reutilización, con otras finalidades, como agricultura.

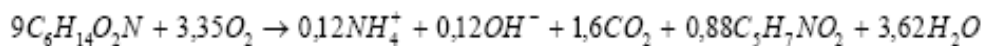
La eficiencia de la depuración del agua residual en lagunas de estabilización depende ampliamente de las condiciones climáticas de la zona, temperatura, radiación solar, frecuencia y fuerza de los vientos locales, y factores que afectan directamente a la biología del sistema.

Las lagunas de estabilización operan con concentraciones reducidas de biomasa que ejerce su acción a lo largo de periodos prolongados. La eliminación de la materia orgánica en las lagunas de estabilización es el resultado de una serie compleja de procesos físicos, químicos y biológicos, entre los cuales se pueden destacar dos grandes grupos.

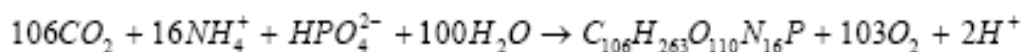
- Sedimentación de los sólidos en suspensión, que suelen representar una parte importante (40-60 % como DBO₅) de la materia orgánica contenida en el agua residual, produciendo una eliminación del 75-80 % de la DBO₅ del efluente (Romero, 1999).
- Transformaciones biológicas que determinan la oxidación de la materia orgánica contenida en el agua residual.

Los procesos biológicos más importantes que tienen lugar en una laguna son:

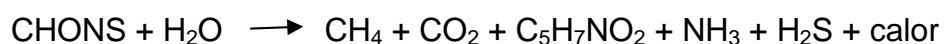
1. **Oxidación de la materia orgánica por bacterias aerobias.** La respiración bacteriana provoca la degradación de la DBO₅ del agua residual hasta CO₂ y H₂O produciendo energía y nuevas células.



2. **Producción fotosintética de oxígeno.** La fotosíntesis algal produce, a partir de CO₂, nuevas algas, y O₂, que es utilizado en la respiración bacteriana.



3. **Digestión anaeróbica de la materia orgánica** con producción de metano.



Materia
Orgánica

nuevas células
bacterianas

4.2. TIPOS DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION.

Las lagunas de estabilización suelen clasificarse en:

- Aerobias.
- Anaerobias.
- Facultativas.
- Maduración.

4.2.1. Lagunas aerobias.

Reciben aguas residuales que han sido sometidos a un tratamiento y que contienen relativamente pocos sólidos en suspensión. En ellas se produce la degradación de la materia orgánica mediante la actividad de bacterias aerobias que consumen oxígeno producido fotosintéticamente por las algas.

Son lagunas poco profundas de 1 a 1.5m de profundidad y suelen tener tiempo de residencia elevada, 20-30 días (Romero, 1999).

Las lagunas aerobias se pueden clasificar, según el método de aireación sea natural o mecánico, en aerobias y aireadas.

- a. Lagunas aerobias: la aireación es natural, siendo el oxígeno suministrado por intercambio a través de la interfase aire-agua y fundamentalmente por la actividad fotosintética de las algas.
- b. Lagunas aireadas: en ellas la cantidad de oxígeno suministrada por medios naturales es insuficiente para llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica, necesitándose un suministro adicional de oxígeno por medios mecánicos.

El grupo específico de algas, animales o especies bacterianas presentes en cualquier zona de una laguna aerobia depende de factores tales como la carga orgánica, el grado de mezcla de la laguna, el pH, los nutrientes, la luz solar y la temperatura.

4.2.2. Lagunas anaerobias.

El tratamiento se lleva a cabo por la acción de bacterias anaerobias. Como consecuencia de la elevada carga orgánica y el corto periodo de retención del agua residual, el contenido de oxígeno disuelto se mantiene muy bajo o nulo durante todo el año. El objetivo perseguido es retener la mayor parte posible de los sólidos en suspensión, que pasan a incorporarse a la capa de fangos acumulados en el fondo y eliminar parte de la carga orgánica.

La estabilización en estas lagunas tiene lugar mediante las etapas siguientes.

- **Hidrólisis:** los compuestos orgánicos complejos e insolubles en otros compuestos más sencillos y solubles en agua.
- **Formación de ácidos:** los compuestos orgánicos sencillos generados en la etapa anterior son utilizados por las bacterias generadoras de ácidos. Produciéndose su conversión en ácidos orgánicos volátiles.
- **Formación de metano:** una vez que se han formado los ácidos orgánicos, una nueva categoría de bacterias actúa y los utiliza para convertirlos finalmente en metano y dióxido de carbono.

Las lagunas anaerobias suelen tener profundidad entre 2 y 5 m, el parámetro más utilizado para el diseño de lagunas anaerobias es la carga volumétrica que por su alto valor lleva a que sean habituales tiempos de retención con valores comprendidos entre 2-5 días (Romero, 1999).

4.2.3. Lagunas facultativas.

Son aquellas que poseen una zona aerobia y una anaerobia, siendo respectivamente en superficie y fondo. La finalidad de estas lagunas es la estabilización de la materia orgánica en un medio oxigenado proporcionando principalmente por las algas presentes (Rolim, 2000).

En este tipo de lagunas se puede encontrar cualquier tipo de microorganismos, desde anaerobios estrictos, en el fango del fondo, hasta aerobios estrictos en la zona inmediatamente adyacente a la superficie. Además de las bacterias y protozoarios, en las lagunas facultativas es esencial la presencia de algas, que son las principales suministradoras de oxígeno disuelto (Rolim, 2000).

El objetivo de las lagunas facultativas es obtener un efluente de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado una elevada estabilización de la materia orgánica, y una reducción en el contenido en nutrientes y bacterias coliformes.

La profundidad de las lagunas facultativas suele estar comprendida entre 1 y 2 m para facilitar así un ambiente oxigenado en la mayor parte del perfil vertical (Rolim, 2000).

Las bacterias y algas actúan en forma simbiótica, con el resultado global de la degradación de la materia orgánica. Las bacterias utilizan el oxígeno suministrado por las algas para metabolizar en forma aeróbica los compuestos orgánicos. En este proceso se liberan nutrientes solubles (nitratos, fosfatos) y dióxido de carbono en grandes cantidades, estos son utilizados por las algas en su crecimiento. De esta forma, la actividad de ambas es mutuamente beneficiosa (Rolim, 2000).

En la siguiente figura se representa un diagrama de la actividad coordinada entre algas y bacterias.

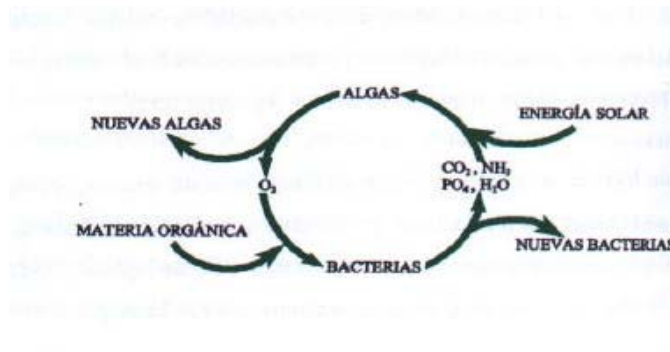


Figura 17. Actividad entre algas y bacterias

En una laguna facultativa existen tres zonas:

1. Una zona superficial en la que existen bacterias aerobias y algas en una relación simbiótica, como se ha descrito anteriormente.
2. Una zona inferior anaerobia en la que se descomponen activamente los sólidos acumulados por acción de las bacterias anaerobias.
3. Una zona intermedia, que es parcialmente aerobia y anaerobia, en la que la descomposición de los residuos orgánicos la llevan a cabo las bacterias facultativas. Los sólidos de gran tamaño se sedimentan para formar una capa de fango anaerobio. Los materiales orgánicos sólidos y coloidales se oxidan por la acción de las bacterias aerobias y facultativas empleando el oxígeno generado por las algas presentes cerca de la superficie. El dióxido de carbono, que se produce en el proceso de oxidación orgánica, sirve como fuente de carbono por las algas. La descomposición anaerobia de los sólidos de la capa de fango implica la producción de compuestos orgánicos disueltos y de gases tales como el CO₂, H₂S y el CH₄, que o bien se oxidan por las bacterias aerobias, o se liberan a la atmósfera (Rolim, 2000).

La Figura 17 presenta las diferentes zonas que comprende una laguna facultativa.

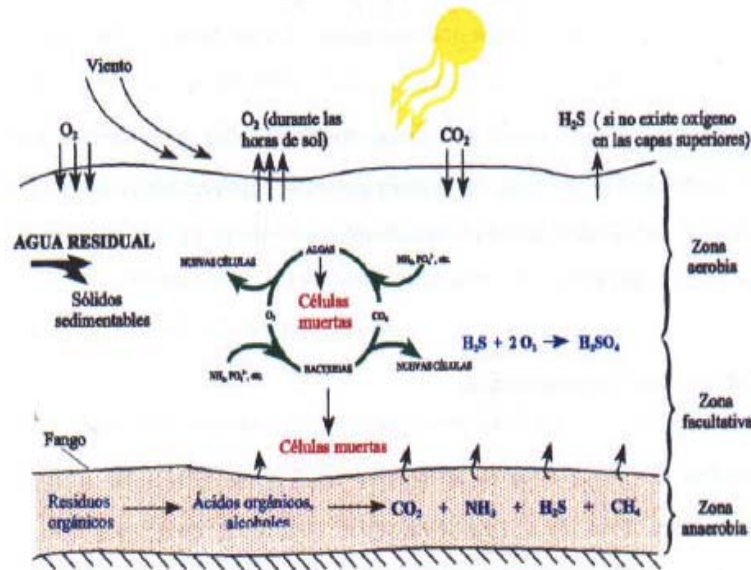


Figura 18. Zonas de la laguna facultativa.

4.2.4. Lagunas de maduración.

Este tipo de laguna tiene como objetivo fundamental la eliminación de bacterias patógenas. Además de su efecto desinfectante, las lagunas de maduración cumplen otros objetivos, como son la nitrificación del nitrógeno amoniacal, cierta eliminación de nutrientes, clarificación del efluente y consecución de un efluente bien oxigenado.

Las lagunas de maduración se construyen generalmente con tiempo de retención de 3 a 10 días cada una, mínimo 5 días cuando se usa una sola y profundidades de 1 a 1.5 metros. En la práctica el número de lagunas de maduración lo determina el tiempo de retención necesario para proveer una remoción requerida de coliformes fecales (Rolim, 2000).

Las lagunas de maduración suelen constituir la última etapa del tratamiento, por medio de una laguna facultativa primaria o secundaria o de una planta de tratamiento convencional, debido a la eliminación de agentes patógenos, si se reutiliza el agua depurada (Rolim, 2000).

4.3. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.

4.3.1. Ventajas.

- La estabilización de la materia orgánica alcanzada es muy elevada.
- La eliminación de microorganismos patógenos es muy superior a la alcanzada mediante otros métodos de tratamiento.
- Presentan una gran flexibilidad en el tratamiento de puntas de carga y caudal.
- Pueden emplearse para el tratamiento de aguas residuales industriales con altos contenidos en materia biodegradables.
- Desde el punto de vista económico, es mucho más barato que los métodos convencionales, con bajos costos de instalación y mantenimiento.
- El consumo energético es nulo.
- En el proceso de lagunaje se generan biomásas potencialmente valorizables una vez separada del efluente.

4.3.2. Inconvenientes.

- La presencia de materia en suspensión en el efluente, debido a las altas concentraciones de fitoplancton.
- Ocupación de terreno, que es superior a la de otros métodos de tratamiento.
- Las pérdidas considerables de agua por evaporación en verano.

4.4. FACTORES CLIMÁTICOS QUE AFECTAN A LAS LAGUNAS.

4.4.1. Temperatura.

Las reacciones físicas, químicas y bioquímicas que ocurren en las lagunas de estabilización son muy influenciadas por la temperatura (Rolim, 2000).

En general y para los intervalos de temperatura normales en las lagunas, se puede decir que la velocidad de degradación aumenta con la temperatura, en especial en lo que concierne a la actividad de las bacterias. Estos fenómenos son retardados por las bajas temperaturas. Por eso, el proyecto de las lagunas debe tener en cuenta siempre las condiciones de temperaturas mas adversas.

Una caída de 10°C en la temperatura reducirá la actividad microbiológica aproximadamente 50%. La actividad de fermentación del lodo no ocurre significativamente en temperaturas por debajo de 17° C (Rolim, 2000).

4.4.2. Radiación solar.

La luz es fundamental para la actividad fotosintética, ésta depende no solo de la luz que alcanza la superficie del agua, sino de la que penetra en profundidad. Como la intensidad de la luz varía a lo largo del año, la velocidad de crecimiento de las algas cambia de misma forma. Este fenómeno da lugar a dos efectos: el oxígeno disuelto y el pH del agua presentan valores mínimos al final de la noche, y aumentan durante las horas de luz solar hasta alcanzar valores máximos a media tarde.

4.4.3. Viento.

El viento tiene un efecto importante en el comportamiento de las lagunas, ya que induce a la mezcla vertical del líquido de la laguna, una buena mezcla asegura una distribución más uniforme de DBO, oxígeno disuelto (importante para lagunas aerobias y facultativas), bacterias y algas y por lo tanto un mejor grado de estabilización del agua residual. En ausencia de mezcla inducida por el viento, la población de algas tiende a estratificarse en banda estrecha, de unos 20 cm de ancho, durante las horas de luz del día. Esta banda concentrada de algas se mueve hacia arriba o hacia abajo en la capa superior, de 50 cm de espesor (Romero, 1999).

4.4.4. Evaporación.

La repercusión principal de la evaporación es la concentración de los sólidos que contiene el agua almacenada. El consiguiente aumento de la salinidad puede resultar perjudicial si el efluente se va a emplear en riego.

4.4.5. Precipitación.

El oxígeno disuelto suele bajar después de tormentas debido a la demanda adicional de oxígeno provocada por los sólidos arrastrados por el agua de lluvia y los sedimentos de las lagunas que se mezclan con la columna de agua. Otro efecto de la lluvia es una cierta oxigenación en la zona superficial de las lagunas, debido tanto al propio contenido en oxígeno de la lluvia como a la turbulencia que provoca con su caída.

4.5. FACTORES FÍSICOS.

4.5.1. Estratificación.

La densidad del agua cambia con la temperatura, es mínima a 4 °C y aumenta para temperaturas mayores o menores, el agua más cálida es más ligera y tiende a flotar sobre las capas más frías. Durante los meses de primavera y verano el calentamiento tiene lugar desde la superficie, la capas superiores están más calientes que las inferiores, son menos densas y flotan sobre ellas sin que se produzca la mezcla entre unas y otras.

Durante la primavera, la mayoría de las lagunas tienen una temperatura casi uniforme, por lo tanto se mezclan con facilidad gracias a las corrientes inducidas por los vientos. Cuando se aproxima el verano, las aguas de las capas superiores se calientan y su densidad disminuye produciéndose una estratificación estable.

4.5.2. Flujo a través de las lagunas.

La circulación del agua a través de la laguna viene afectada por la forma y tamaño de ésta, la situación de entradas y salidas, velocidad y dirección de los vientos dominantes y la aparición de diferencias de densidad dentro de la misma. Las anomalías de flujo más frecuentes se manifiestan en la aparición de zonas muertas, es decir, partes de la laguna en las que el agua permanece estancada durante largos periodos de tiempo.

4.5.3. Profundidad.

La profundidad de las lagunas es normalmente 1.5, aunque se pueden usar profundidades entre 1 y 2 m. El límite inferior viene condicionado a la posibilidad de crecimiento de vegetación emergente para profundidades menores, lo cual se desaconseja normalmente para evitar el desarrollo de mosquitos (Romero, 1999).

Existen varias razones por las que en estos sistemas profundos se obtiene mayor eficacia de tratamiento como es la mayor productividad de las algas en un medio en el que tienden a sedimentar en la zona profunda y morir. La zona profunda tiende a estar en condiciones anaerobias, y en ella se produce la degradación lenta de compuestos orgánicos y microorganismos sedimentados desde la superficie. De esta forma se generan nutrientes solubles que se reincorporan a la capa superficial y contribuyen a la actividad biológica.

En las zonas climas calidos la mayor profundidad repercute en una disminución de la evaporación relativa, lo que es beneficioso desde el punto de vista del almacenamiento para riegos como para evitar aumentos de salinidad en el efluente.

4.6. FACTORES QUÍMICOS Y BIOQUÍMICOS.

4.6.1. pH.

El valor de pH en las lagunas viene determinado fundamentalmente por la actividad fotosintética del fitoplancton y la degradación de la materia orgánica por las bacterias. Las algas consumen anhídrido carbónico en la fotosíntesis, lo que desplaza el equilibrio de los carbonatos y da lugar a un aumento del pH. Por otra parte, la degradación de la materia orgánica conduce a la formación de dióxido de carbono como producto final, lo que causa una disminución de pH.

Como la fotosíntesis depende de la radiación solar, el pH de las lagunas presenta variaciones durante el día y el año. Cuanto mayor es la intensidad luminosa, los valores del pH son más altos. Estas variaciones diarias son muy marcadas en verano, cuando pueden alcanzarse valores de pH en torno a 9 o mayores, partiendo de valores de 7-7.5, al final de la noche (Rolim, 2000)

4.6.2. Oxígeno disuelto.

El contenido en oxígeno disuelto es uno de los mejores indicadores sobre el funcionamiento de las lagunas. La principal fuente de oxígeno disuelto es la fotosíntesis, seguida por la reaireación superficial. La concentración de oxígeno disuelto presenta una variación senoidal a lo largo del día. El contenido en oxígeno es mínimo al amanecer y máximo por la tarde, y puede oscilar entre un valor nulo hasta la sobresaturación. Durante el verano es posible encontrar que las capas superficiales de las lagunas están sobresaturadas de oxígeno disuelto.

El oxígeno disuelto presenta variaciones importantes en profundidad. La concentración de oxígeno disuelto es máxima en superficie, y a medida que aumenta la profundidad va disminuyendo hasta anularse. La profundidad a la que se

anula el oxígeno disuelto se llama oxipausa, y su posición depende de la actividad fotosintética, el consumo de oxígeno por las bacterias y el grado de mezcla inducido por el viento. En invierno la capa oxigenada tiende a ser mucho más reducida que en verano.

4.6.3. Nutrientes.

Los nutrientes son fundamentales para la buena marcha del tratamiento en lagunas. A medida que progresa la depuración se va produciendo una eliminación de nutrientes que puede dar lugar a que uno o varios alcancen concentraciones limitantes para el desarrollo subsiguiente de algas o bacterias. En lagunas de estabilización el agotamiento de nutrientes solo ocurre en pocas de intensa actividad biológica, y suelen venir de la eliminación de materia orgánica hasta los niveles máximos en este tipo de tratamiento.

4.7. CONSTRUCCIÓN DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN.

4.7.1. Materiales y Equipo.

- a) Mapa de localización o mapa principal de alcantarillado.
- b) Dibujo del diseño de la laguna.
- c) Dibujo del diseño de la salida, entrada y terraplenes.
- d) Lista de materiales.

Si más de una laguna será construida se debe tener:

- Diseño de la disposición del sistema de lagunas.
- Dibujos de los sistemas de interconexión.
- Accesorios de los materiales a emplearse.

4.7.2. Preparación del sitio.

- a) Localizar el sitio y marcarlo temporalmente en la tierra.
- b) Llevar los trabajadores, materiales y herramientas necesarias para comenzar con los trabajos.
- c) Despejar el sitio de la laguna y del terraplén, todos los árboles, arbustos, grandes rocas y cualquier otro material que impida la construcción de la laguna.
- d) Quitar tierra vegetal o el césped del sitio y colóquelo en otro lado. Esto será utilizado más adelante para acabar el terraplén.

4.7.3. Marcaje del sitio y localización de tubería.

- A. Fijar las estacas de referencias, indicando los límites del fondo de la laguna, encuentre la elevación de cada estaca usando el nivel topográfico.

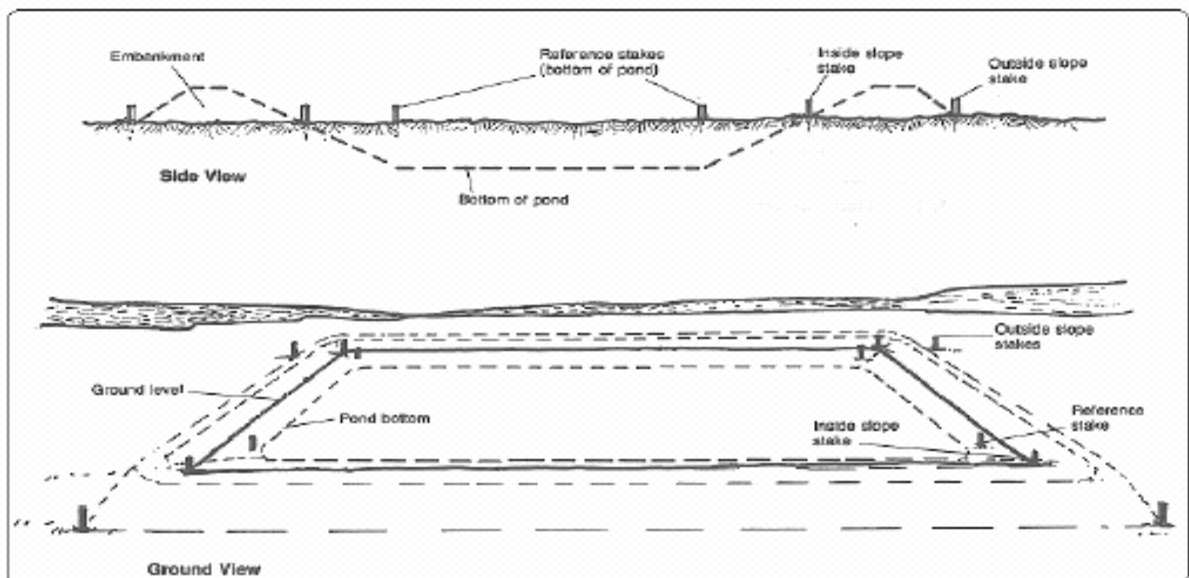


Figura 19. Construcción de lagunas de estabilización.(OPS/CEPIS/05.164)

- B. Medir la distancia y la elevación de las estacas de referencia, fije las estacas que indican los puntos en los cuales se va a comenzar a construir el terraplén y a excavar la laguna. Fijar las estacas indicando la localización de la tubería, esto elimina las porciones de reexcavación del terraplén.

4.7.4. Excavación de la laguna.

Se comienza a excavar en las estacas de zonas interiores, hasta que se alcance la elevación inferior. La nivelación se comprueba con un nivel y la barra de un topógrafo.

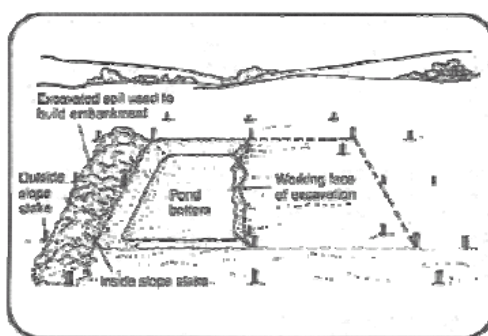


Figura 20. Excavación de una laguna de estabilización.(OPS/CEPIS/05.1641)

Continuar excavando a lo largo del fondo de la laguna, utilice el suelo excavado para acumular los terraplenes. El fondo de la laguna debe estar tan llano y uniformemente como sea posible. Si hay puntos o raíces suaves de árbol, cávelos hacia fuera.

4.7.5. Construcción de los terraplenes.

- Comenzar la construcción de los terraplenes como la laguna es excavada, los terraplenes se deben apisonar bien, con los lados inclinados según especificaciones de diseño.
- Deje los boquetes en el terraplén, en las localizaciones de la tubería. Puede también ser conveniente dejar unos o más boquetes amplios para el retiro del suelo excavado.

- c) La parte superior del terraplén debe ser nivelada, bien apisonada, y por lo menos 1.0 m de ancho. La distancia de la tapa del terraplén al fondo de la laguna deberá ser igual a la profundidad del diseño de la laguna más 1.0 m .

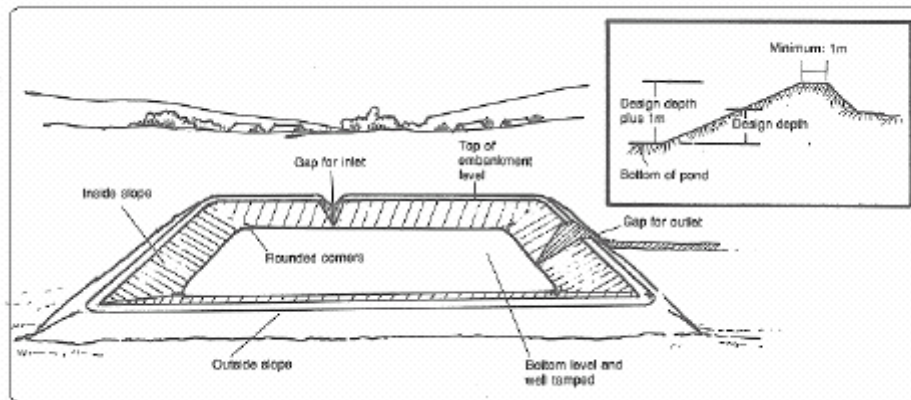


Figura 21. Construcción de terraplenes. (OPS/CEPIS/05.164)

4.7.6. Colocación de la tubería.

- Excavar las zanjas para las tuberías con la profundidad y las localizaciones del diseño. Los fondos de las zanjas deben ser bien apisonadas.
- Construya las bases cerca de los 0.5 m de alto para la tubería de entrada, de concreto o piedra. El propósito de las bases es levantar la tubería de entrada sobre el fondo de la laguna (Rolim, .2000).
- Construya las losas para las tuberías de salida, de concreto o de la piedra. El propósito de la losa es apoyar la tubería de salida y prevenir la erosión a la descarga de las aguas residuales tratadas. Construir las losas bajo todas las localizaciones de la válvula.

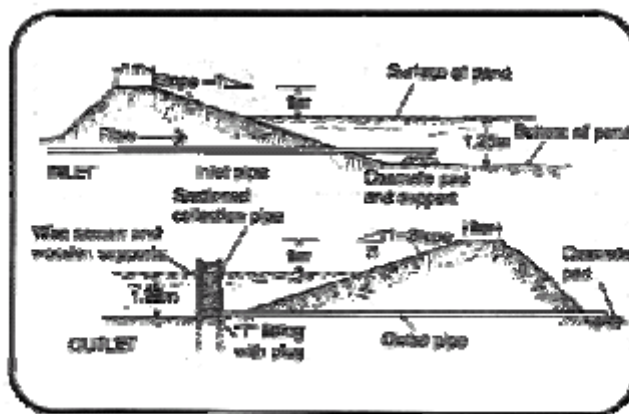


Figura 22. Colocación de las tuberías.(OPS/CEPIS/05.164)

- d) Colocar la tubería del alcantarillado y el mortero juntos. Instale las válvulas. Construya la salida vertical de acuerdo a la profundidad de la laguna. Deberá ser igual a la profundidad del diseño calculado por el diseñador del proyecto. Las secciones envueltas permitirán que la laguna se drene cuando sea necesario.
- e) Rellenar cuidadosamente las zanjas de las tuberías con suelo húmedo y apisonarlo.

4.7.7. Terminado de los terraplenes.

Completar cualquier boquete en el terraplén que fuera utilizado para poner la tubería o remover el suelo excavado. Apisonar a fondo la tapa y las pendientes y hacerlas uniformes con el terraplén existente.

Alinear la pendiente del terraplén con las rocas y las piedras planas. Esto previene la erosión, debido a la acción de la onda durante la operación de la laguna. Las rocas y las piedras se deben colocar suavemente para conformarse con el diseño de la pendiente del terraplén. Evitar usar grava y los guijarros porque este material tiende a mover la pendiente.

- En lo posible las lagunas se deben de arrancar en el verano, pues a mayor temperatura se obtiene mayor eficiencia de tratamiento y menor tiempo de aclimatación.
- El llenado de las lagunas debe hacerse lo más rápidamente posible, para prevenir el crecimiento de vegetación emergente y la erosión de los taludes si el nivel del agua permanece por debajo del margen o tratamiento protegido.
- Para prevenir la generación de malos olores y el crecimiento de vegetación, las lagunas deben llenarse, por lo menos, hasta un nivel de operación de 0.6 m. (Romero, 1999)

4.8.2. Operación y mantenimiento.

La operación y el mantenimiento de las lagunas de estabilización tiene como objetivos básicos lo siguientes:

- Mantener limpias las estructuras de entrada, interconexión y salida.
- Mantener las en las lagunas facultativas primarias un color verde intenso brillante, el cual indica el pH y el oxígeno disuelto alto.
- Mantener libre de vegetación la superficie del agua.
- Mantener adecuadamente podados los taludes para prevenir problemas de insectos y erosión.
- Mantener un efluente con concentraciones mínimas de DBO y sólidos suspendidos (Romero, 1999).

Las labores típicas de operación y mantenimiento incluyen:

- Mantener limpia la rejilla en todo momento, remover el material retenido, desaguarlo y enterrarlo diariamente. Es recomendable medir el volumen diario de material dispuesto.
- Mantener controlada la vegetación de los diques impidiendo su crecimiento mas allá del nivel del triturado o grava de protección contra la erosión

- Remover toda la vegetación emergente en el talud interior de las lagunas
- Inspeccionar y prevenir cualquier dalo en diques, cerca o unidades de entrada, interconexión y salida (Romero, 1999).