



CAPÍTULO IV. LODOS

4.1. Introducción

Los lodos se definen como una mezcla que contiene una fase sólida suspendida en un medio líquido, dependiendo de las operaciones y procesos de tratamiento, la fase sólida será el 12-25% del peso total. Los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales son producto de la concentración de sólidos contenidos en el efluente (lodos primarios), o de la formación de nuevos sólidos suspendidos (lodos activados) resultantes de la remoción de sólidos disueltos de las aguas residuales. En algunas ocasiones estos lodos son vertidos en el medio ambiente sin algún tratamiento previo. Sin embargo, a pesar de que esta práctica no siempre es ambiental ni económicamente viable, muy a menudo se realiza, tal es el caso de los lodos primarios. En el siguiente capítulo se discutirán algunas de las características que los hacen nocivos y se definirá el término *estabilización* a fin de sentar bases que sirvan para proponer un tratamiento adecuado para estos residuos. Finalmente se hará una descripción de los métodos más comunes de estabilización.

4.2. Características de los lodos residuales

A causa de las características físico-químicas de los procesos de depuración de aguas residuales, los lodos tienden a acumular una serie de metales y compuestos orgánicos. Esta propiedad es una ventaja, cuando se considera la calidad del agua residual tratada, pero hace que la calidad del lodo dependa, fundamentalmente, de cuatro grupos de contaminantes principales:

4.2.1. Metales

Los metales son esenciales para los organismos vivos se usan en pigmentos (Fierro, cobre, vanadio), enzimas (zinc), vitaminas (cobalto) y en otros procesos metabólicos. Los



metales pesados comienzan a ser tóxicos a medida que aumenta su concentración. En los lodos encontramos zinc (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg) y cromo (Cr) (*tabla2.1*). Su potencial de acumulación en los tejidos humanos y su biomagnificación en la cadena alimenticia suscitan preocupaciones, tanto medioambientales como sanitarias. Los metales están siempre presentes, a concentraciones bajas, en las aguas residuales domésticas, pero las concentraciones preocupantes son sobre todo las que se encuentran en las aguas residuales industriales. El cadmio por ejemplo es un metal tóxico que no presenta ningún tipo de beneficio en el metabolismo humano, y puede ser transmitido de los lodos al suelo, del suelo a las plantas, de las plantas al ganado bovino, porcino, o aves y finalmente de los animales al ser humano.

Tabla 2.1 Valores típicos para metales en lodos residuales

| Parámetro | Lodos de Aguas residuales domésticas (mg/kg) | Lodos de Aguas residuales domésticas+industriales (mg/kg) |
|-----------|--|---|
| As | 10 - 50 | |
| Cd | 10-400 | 90-240 |
| Cr | 50 - 200 | 260-2650 |
| Cu | 95-700 | 960-2300 |
| Pb | 200-500 | 760-2790 |
| Hg | 1-11.2 | 2.6-5 |
| Ni | 110-400 | 200-900 |
| Se | 10-180 | |
| Zn | 1000-1800 | 800-460 |

Adaptado de la bibliografía [3]

4.2.2. Nutrientes

Los lodos contienen cantidades apreciables de nitrógeno (N) y fósforo (P) (*ver tabla2.2*). El nitrógeno puede estar en una de sus 4 formas: N (orgánico), $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, y $\text{NO}_3\text{-N}$. Las 3 últimas formas están disponibles para que las plantas las usen como nutrientes, mientras que los microorganismos de la rizósfera deberán convertir el nitrógeno orgánico a una de sus formas inorgánicas antes de poder introducirlo en su metabolismo.



Aproximadamente el 80% de todo el nitrógeno contenido en los lodos estará disponible para las plantas. El fósforo esta disponible en la misma proporción encontrada en los fertilizantes inorgánicos, la tasa de utilización del fósforo esta en un rango de 40-80%. La peligrosidad de estos nutrientes radica en su potencial de eutroficación para las aguas subterráneas y superficiales. Sin embargo, se pueden considerar como fertilizantes valiosos.

Tabla 2.2 Rangos de la presencia de N y P en lodos

| Parámetro | Lodo primario |
|-----------------------|---------------|
| Nitrógeno (N% de ST) | 1.5 -4 |
| Fósforo (P Os% de ST) | 0.8 -2.8 |

Adaptado de la bibliografía [3]

4.2.3. Contaminantes orgánicos

Los plaguicidas, los disolventes industriales, los colorantes, los plastificantes, los agentes tensoactivos y muchas otras moléculas orgánicas complejas, generalmente con poca solubilidad en agua y elevada capacidad de adsorción, tienden a acumularse en los lodos. Incluso están presentes en los lodos residuales hidrocarburos aromáticos, procedentes de la combustión de los combustibles fósiles. Todos ellos son motivo de preocupación por sus efectos potenciales sobre el medio ambiente y, en particular, sobre la salud humana. Una característica específica de este tipo de contaminantes, en comparación con los dos anteriores, es su variado potencial de biodegradación. Muchas de estas moléculas tienen un potencial de biodegradación lento, pero significativo. Por tanto, los sistemas biológicos de tratamiento, con tiempos de residencia más largos, tendrán una mayor capacidad para biodegradar estos compuestos indeseables. La biodegradación también puede ocurrir después de esparcir los lodos en la tierra o mediante compostaje.



4.2.4. Patógenos

Al igual que las aguas residuales, los lodos contienen bacterias, virus, protozoarios, parásitos y otros microorganismos, algunos de ellos son benéficos mientras que otros son patógenos (*ver tabla 2.3*). Una vez que las aguas residuales se han sometido a un proceso de tratamiento, el efluente final estará prácticamente libre de patógenos, sin embargo durante la sedimentación primaria y secundaria los microorganismos patógenos estarán concentrados en los lodos. Existen tres tipos de microorganismos contenidos en los lodos que representan una amenaza para la salud pública estos son las bacterias, los parásitos y los virus. *Salmonellae* es el grupo predominante en los lodos, y numerosas bacterias patógenas están presentes. *Salmonellae* puede inactivarse por medio de incineración, y procesos como la digestión (aerobia y anaerobia) no conseguirá eliminarlo, pero si reducir considerablemente el riesgo de alguna infección. Los parásitos presentes en los lodos incluyen los huevos de cisticercos, nematodos y especies de ascaris, un solo embrión de cualquiera de estas especies es suficiente para causar una infección. Al igual que las bacterias la digestión solo eliminara el número de parásitos. Dentro de los virus podemos encontrar los causantes de la polio y la hepatitis así como rotavirus causantes de problemas gastrointestinales. Para inactivarlos se puede seguir la misma ruta de inactivación para las bacterias.

Tabla 2.3 Niveles de indicadores de presencia de bacterias patógenas y virus en lodos

| Lodos Sin tratar | Coliformes totales | Coliformes fecales | <i>Streptococci</i> Fecal | Especies de <i>Salmonella</i> | <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | Virus entericos |
|------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| Primario | $10^6 - 10^8$ | $10^6 - 10^7$ | $\sim 10^6$ | 4×10^2 | 3×10^3 | 0.002-0.004 MPN |
| Secundario | $10^7 - 10^8$ | $10^7 - 10^9$ | $\sim 10^6$ | 9×10^2 | 1×10 | 0.015-0.026 MPN |
| Mezcla | $10^7 - 10^9$ | $10^5 - 10^6$ | $\sim 10^6$ | $\sim 5 \times 10^2$ | $\sim 10^3 - 10^5$ | - |

Las unidades son número de organismos por gramo de peso seco
Adaptado de la bibliografía [3]



4.3. *Estabilización de Lodos*

Como ya hemos visto los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales, poseen características que los hacen nocivos para el medio ambiente, por lo que no pueden ser desechados con facilidad.

El término estabilización puede considerarse como el proceso o el conjunto de procesos que dan como producto final un lodo con características tales que después del proceso puede ser usado sin que comprometa la salud pública o al medio ambiente.

El mal olor, la proliferación de patógenos y la putrefacción tienen lugar cuando los microorganismos se establecen en la fracción orgánica. De esta manera la estabilización de los lodos buscará cumplir con 4 objetivos principales:

- reducir la presencia de microorganismos patógenos,
- eliminar el mal olor;
- inhibir, reducir, eliminar, su potencial de putrefacción y
- reducir los efectos de compuestos orgánicos.

El éxito de estos procesos está relacionado con su efecto sobre la fracción volátil u orgánica de los lodos. Para cumplir con estos objetivos se pueden seguir varias rutas, la primera consiste en la reducción biológica o la oxidación química del contenido de materia volátil, se pueden agregar agentes químicos a fin de imponer condiciones poco favorables para el desarrollo de microorganismos y aplicar calor con el objeto de desinfectar o esterilizar los lodos. Bajo estos principios se rigen los procesos de estabilización.

Las tecnologías más utilizadas para la estabilización de los lodos incluyen:

- Estabilización con cal
- Tratamiento térmico
- Incineración
- Compostaje



- Digestión aerobia
- Digestión anaerobia

4.3.1. Estabilización con cal

Durante este proceso se añade suficiente cal a los lodos para elevar el pH arriba de 12 condiciones a las cuales los microorganismos no mantienen sus funciones metabólicas, como consecuencia de ello, mientras se mantenga este valor de pH, los lodos no despedirán olores, no serán vectores infecciosos y se eliminará su potencial de putrefacción. El proceso de estabilización con cal puede ser previo a un proceso de deshidratación o posterior a el, y se utiliza tanto cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), como cal viva, (CaO). En algunos casos, la cal se ha sustituido por polvo de hornos de cemento.

Pretratamiento con cal. Para este proceso es necesario aplicar una cantidad mayor de cal por peso unitario de lodo tratado, que la requerida para la deshidratación. Este excedente es necesario para mantener un pH alto. Así mismo es necesario suficiente tiempo de contacto para obtener un alto porcentaje de eliminación de patógenos. Se recomienda mantener el pH arriba de 12 por lo menos 2 horas para asegurar la destrucción de patógenos (Metcalf, Eddy, 1998). La dosis de cal necesaria estará en función del tipo de lodos y la concentración de sólidos. En la tabla 2.4 se indican las dosis típicas. A mayor concentración de sólidos menor será la dosis de cal necesaria para un aumento constante de la temperatura. La estabilización con cal no destruye la materia orgánica, de manera que se debe aplicar un exceso de cal al ser evacuados o desecharlos antes de que el pH disminuya. El exceso puede llegar a ser de hasta 1.5 veces la cantidad necesaria para mantener el pH en 12.



Tabla 2.4 Dosis típicas de cal para la estabilización de lodos líquidos

| Tipo de lodo | Concentración de sólidos, % | | Dosis de cal, kg Ca(OH) /ton sólidos secos | |
|---------------------------------|-----------------------------|-------------|--|-------------|
| | Intervalo | Valor medio | Intervalo | Valor medio |
| Primario | 3 - 6 | 4.3 | 60 - 170 | 120 |
| Exceso de fango activado | 1 - 1.5 | 1.3 | 210 - 430 | 300 |
| Mezcla digerida por vía aerobia | 6 - 7 | 6.5 | 140 - 430 | 190 |
| Líquido de fosas sépticas | 1 - 4.5 | 2.7 | 140 - 250 | 200 |

Adaptado de la bibliografía [2]

Post –tratamiento con cal. En este proceso la cal hidratada o viva se añade a los lodos deshidratados y se mezcla por medio de un transportador de tornillo o por medio de un mezclador de paleta a fin de elevar el pH de la mezcla. Este paso es de vital importancia ya que es necesario eliminar la formación de bolsas de materia putrescible, si el mezclado se lleva a cabo con éxito el resultado final es una mezcla formada por pequeñas partículas que pueden ser almacenadas por largos periodos o esparcida sobre el terreno de manera sencilla. El uso de cal viva es preferible debido a que al contacto con el agua se producen 2 efectos benéficos:



- (1) es una reacción exotérmica lo que eleva la temperatura por arriba de 50° C, y se logra la inactivación de los huevos de gusanos.
- (2) Parte del agua contenida se une químicamente al calcio lo que beneficia el secado del lodo

El sistema de postratamiento presenta una serie de ventajas frente al tratamiento previo:

- Se puede emplear cal en polvo, no es necesaria la adición de agua a los lodos deshidratados.
- No se necesitan tasas de deshidratación específicas



- Eliminación de depósitos carbonatados
- Eliminación de problemas de mantenimiento en el equipo de deshidratación de lodos.

La estabilización de lodos por medio de adición de cal presenta bajos costos de inversión pero puede implicar altos costos de operación a menos que el costo de la cal sea bajo. Esta tecnología implica un aumento en la cantidad de los lodos ya que al final del proceso el peso de los lodos se incrementa respecto al peso inicial en un 20-40 %, esto se debe a que los rangos de cal agregada van de 100-200 kg/ton sólidos secos.

4.3.2. Tratamiento térmico

El tratamiento térmico es un proceso en el que los lodos se calientan en un depósito a temperaturas de hasta 260° C y a presiones de hasta 2760 kN/m² durante un periodo corto de tiempo. Este tratamiento sirve como proceso de estabilización y acondicionamiento, aunque se considera más como proceso de acondicionamiento ya que a altas presiones y temperaturas el agua contenida y ligada a los lodos se libera, permitiendo una deshidratación adecuada sin necesidad de adición de reactivos químicos.

Una vez que el agua contenida en los lodos se ha liberado, se provoca la destrucción celular y la liberación de sólidos orgánicos solubles y nitrógeno amoniacal.

4.3.3. Incineración

La incineración es el proceso de estabilización de sólidos más completa, ya que oxida completamente toda la materia orgánica, el olor es eliminado y los patógenos destruidos. En este proceso la temperatura de los lodos es elevada por encima de los 800°C



en un ambiente rico en oxígeno para conseguir la degradación de los compuestos orgánicos y obtener como producto final dióxido de carbono, agua y ceniza estable, lográndose una reducción del 90% del volumen total de los lodos alimentados.



Para obtener este porcentaje de remoción es necesario considerara los siguientes puntos:

- Tiempo de retención del gas
- Tiempo de retención de los sólidos
- Temperaturas suficientemente altas
- O₂ suficiente
- Suficiente turbulencia para mezclar el oxígeno y los residuos

La composición de los lodos es muy importante durante la incineración no sólo por su valor calorífico (KJ/kg sólidos secos), también por la concentración de metales pesados, compuestos refractarios y compuestos orgánicos tóxicos. Estos contaminantes pueden ser emitidos durante la salida de los gases de combustión y ocasionar problemas de calidad de aire por lo tanto el objetivo más importante de la incineración es la destrucción completa de la materia orgánica y los compuestos peligrosos mientras se mantienen controlados los niveles de emisión al aire. Además compuestos orgánicos, como aquellos de la familia de las dioxinas son generados durante la incineración y debido a esto presenta riesgos importantes para la salud. Existen varios tipos y arreglos de incineradores, sin embargo para el tratamiento de lodos se emplean los de pisos múltiples, los de lecho fluidizado y aquellos de “powder burning”.



Los mecanismos de transferencia de calor, conducción, convección y radiación ocurren en sólidos, líquidos y gases a altas temperaturas. El flujo interior deberá ser laminar o turbulento aunque generalmente es el último. Durante la incineración los enlaces químicos entre los elementos se rompen y se forman radicales libres para dar CO_2 y agua, algunas de las reacciones estequiométricas que ocurren durante este proceso se muestra en la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Algunas reacciones estequiométricas del proceso de incineración

| Elementos + $\text{O}_2, \text{H}_2\text{O}$ | → | Compuesto |
|---|---|--------------------------------|
| $\text{C} + \text{O}_2$ | → | CO_2 |
| $\text{H}_2 + 0.5\text{O}_2$ | → | H_2O |
| $\text{S} + \text{O}_2$ | → | SO_2 |
| $2\text{P} + 2.5\text{O}_2$ | → | P_2O_5 |
| $\text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ | → | $2\text{NH}_3 + 0.5\text{O}_2$ |
| $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | → | $2\text{HCl} + 0.5\text{O}_2$ |
| $\text{F}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | → | $2\text{HF} + 0.5\text{O}_2$ |
| $\text{Br}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | → | $2\text{HBr} + 0.5\text{O}_2$ |

Fuente bibliografía [4]

4.3.4. Compostaje

El compostaje es la descomposición aeróbica de la materia orgánica, los microorganismos llevan a cabo este proceso como sigue:



Aproximadamente el 20-30 % de los sólidos volátiles se convierten a dióxido de carbono y agua. Conforme se lleva a cabo la descomposición de la materia orgánica contenida en los lodos, la temperatura se eleva hasta alcanzar 50 a 70 ° C, lo cual permite la eliminación de organismos patógenos entéricos.



El compostaje se puede llevar a cabo en condiciones aerobias o anaerobias sin embargo en la mayoría de los casos se emplea el compostaje aerobio, a estas condiciones la descomposición de la materia orgánica se acelera y el aumento de la temperatura es mayor lo que minimiza la producción de olores y la presencia de patógenos.

Los nutrientes más importantes durante el proceso son el nitrógeno, el fósforo, el calcio, sodio, azufre, potasio y magnesio, los cuales se encuentran en cantidades suficientes en los lodos alimentados, que además deberán estar en un estado semisólido.

El compostaje consta de ciertas etapas básicas, en la primera el lodo deberá ser mezclado con un material que le sirva de soporte y favorezca la creación de intersticios por los cuales circule el aire, generalmente se usa el aserrín o paja.

La siguiente etapa es la aireación, la cual es muy importante ya que no solo constituye el medio por el cual se suministra oxígeno a los microorganismos encargados de llevar a cabo la degradación, sino que además sirve para controlar la temperatura y disminuir la humedad presente. Para proporcionar el oxígeno suficiente se emplea aireación mediante agitación o volteo mecánico, y por medio de sopladores a través de la masa de los lodos.

Existen 3 configuraciones diferentes para el compostaje de los lodos:

- Pila estática aireada
- Compostaje en sistemas mecánicos cerrados
- Compostaje tradicional en hileras

4.3.5. Digestión Aerobia

El proceso de digestión aerobia es muy similar al proceso de lodos activados empleado en el tratamiento de aguas residuales. Los lodos son alimentados a un tanque en donde son mezclados en condiciones aeróbicas, a medida que el suministro de alimento



(sustrato) se agota, los microorganismos empiezan a consumir su propio protoplasma a fin de mantener sus funciones metabólicas. A esta fase se le llama endógena, y los productos finales son dióxido de carbono, agua y amoníaco. Posteriormente el amoníaco se oxida para formar nitratos. La reacción global es la siguiente:



Dentro de la digestión aerobia es muy importante considerar los efectos de la acidez producidos por la oxidación del amoníaco a nitratos, si la alcalinidad presente en el agua residual no es la suficiente, será necesaria la adición de algún reactivo que permita mantener el pH en los niveles deseados.

Existen tres tipos de configuración para la digestión aerobia:

- Digestión convencional
- Digestión con oxígeno puro
- Digestión termofílica

4.3.6. Digestión Anaerobia

En el proceso de digestión anaerobia, los lodos residuales son alimentados a un tanque en donde se mezclan en condiciones libres de oxígeno. Al no tener suministro de alimento los microorganismos contenidos entran en fase endógena y como productos finales obtenemos metano, dióxido de carbono, ácido sulfhídrico y trazas de otros gases. La digestión anaerobia es un proceso que depende de la acción de un consorcio de bacterias, clasificadas como hidrolíticas, acetogénicas, acidogénicas y metanogénicas.

El paso limitante dentro del proceso es el de la metanogénesis ya que las bacterias formadoras de metano, un grupo de microorganismos anaerobios estrictos, son



extremadamente sensibles a los cambios en el medio ambiente, y su bienestar es de vital importancia dentro del proceso de digestión. Este tipo de bacterias se desarrollan sólo bajo ciertos rangos de pH y temperatura, además son de lento crecimiento por lo que se necesitan tiempos de retención mayores (de 20 a 60 días) que permitan mantener en contacto a los microorganismos y a la materia y también para evitar la pérdida de biomasa en el reactor. Una ventaja que ofrece este proceso es la producción de metano, ya que puede ser comercializado o introducido en el proceso para reducir los costos. Existen 3 tipos de arreglos para la digestión anaerobia:

- Digestión anaerobia convencional
- Digestión de una fase y alta carga
- Digestión en dos fases

Digestión anaerobia convencional. El proceso de digestión convencional se lleva a cabo en una única fase en donde la digestión, el espesado de lodos y la formación de sobrenadantes se llevan a cabo en forma simultánea. Los lodos crudos se introducen en la zona en la que el lodo se digiere activamente y hay producción de gas, normalmente los lodos se calientan por medio de un intercambiador de calor externo. No se suelen emplear mecanismos de agitación o mezclado, ya que las burbujas ascendentes de gas arrastran partículas de lodo y otros materiales lo que proporciona el mezclado suficiente. Una vez que el gas a llegado hasta la superficie se forma una capa de espuma, es decir un sobrenadante. Durante el proceso de digestión el reactor se estratifica debido a que no existen mecanismos que propicien un mezclado íntimo, y solo se emplea del 25 -50% del volumen total del digestor.

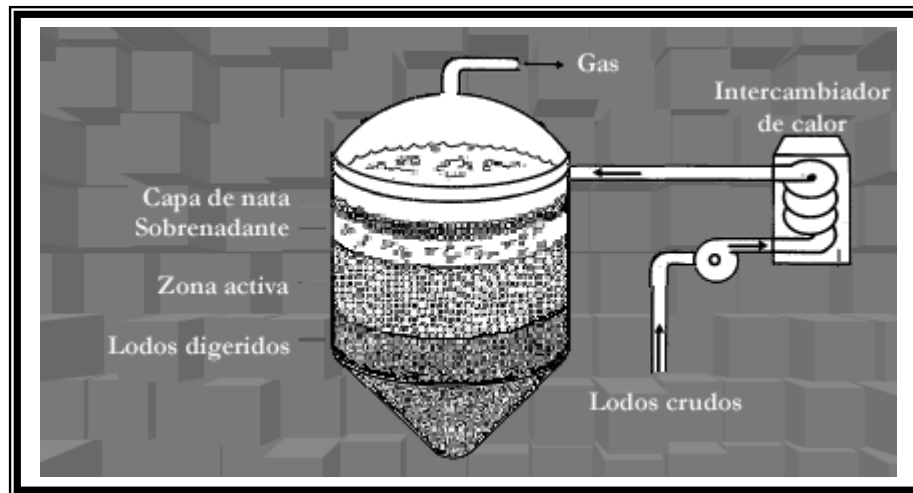


Fig.2.1 Digestión anaerobia convencional

Digestión de una fase y alta carga. Este proceso es muy similar al convencional, pero como su nombre lo indica se introducen cargas orgánicas más altas, esto es posible porque se evita la estratificación del digester por medio de la recirculación del gas, mezcladores mecánicos y bombeo, además se mantiene el calentamiento de los lodos para acelerar la destrucción de la materia orgánica. Los digestores son más grandes a fin de favorecer el mezclado, debido a que no se separa el sobrenadante, y los sólidos se reducen en un 45-50%, el lodo digerido tendrá una concentración del orden de la mitad del lodo crudo. El gas producido puede ser almacenado en un depósito a presión.

Digestión en dos fases. En este proceso un digester de alta carga se combina en serie con un segundo tanque de digestión. En el primer digester se lleva a cabo el mezclado y la digestión, mientras que el segundo tanque sirve para almacenar y concentrar el lodo digerido a fin de obtener un sobrenadante relativamente clarificado. El sistema de dos tanques fue diseñado para acortar el tiempo de digestión, ambos digestores están cubiertos y en el segundo tanque se almacenan grandes cantidades de biomasa activa que puede ser transferida en caso de que haya problemas con el funcionamiento del primer tanque.

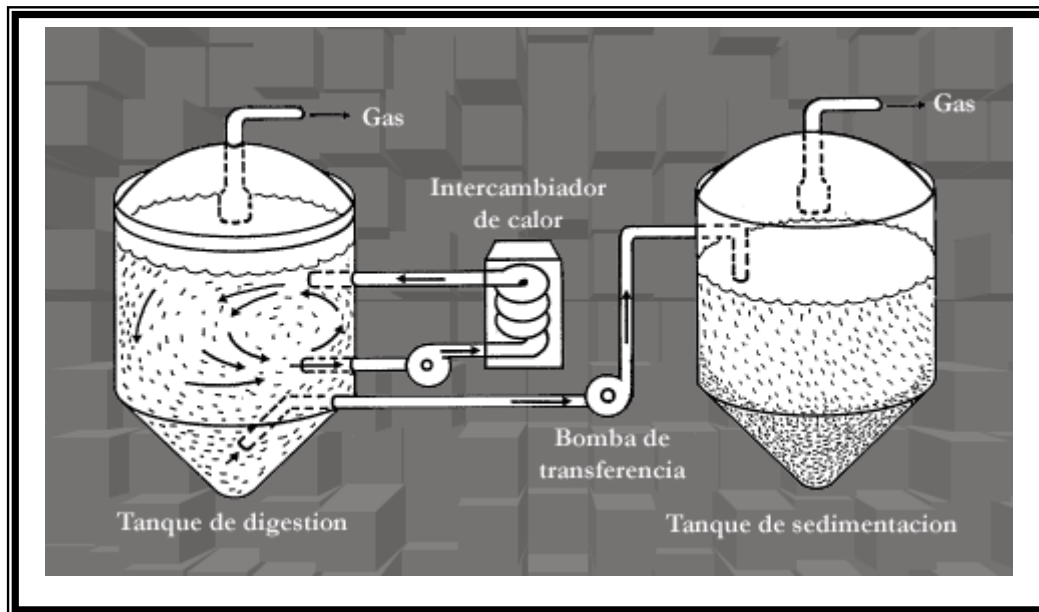


Fig 2.2. Digestión anaerobia en dos fases

4.4. Criterios de estabilización

A manera de síntesis a continuación se presenta una tabla (ver Tabla 2.6) con las principales tecnologías de estabilización de lodos y su efectividad en distintos parámetros que sirven para medir la estabilidad de los lodos.

La tabla 2.7 es un listado de las características de los procesos aerobios y anaerobios a fin de hacer una comparación de ambas tecnologías. Es importante decir que ninguna de las opciones de estabilización da como resultado una estabilización total, ni siquiera la incineración. Por lo que para hacer la selección de un proceso de estabilización se debe tener como criterio el destino final de los desechos, por ejemplo si los lodos digeridos serán vertidos lejos de algún asentamiento humano, es posible que no deba considerarse tan importante la reducción de patógenos y olor, por otra parte, si se planea usar los lodos como acondicionadores en jardines públicos o privados, la



Tabla 2.6 Efectividad de los procesos de estabilización de lodos

| Método | Efectividad | | | |
|--------------------------------------|-------------------|--------------------------|---------------------|----------------------------------|
| | Reducción de olor | Eliminación de patógenos | Remoción de toxinas | Reducción de materia putrescible |
| <i>Digestión</i> | | | | |
| Aerobia | + | + | 0 | + |
| Anaerobia | + | + | + ² | + |
| <i>Tratamiento con cal</i> | | | | |
| Cal hidratada (Ca(OH) ₂) | + | + | + ³ | 0 |
| Cal viva (CaO) | + | ++ | ++ ³ | 0 |
| Compostaje | + | + | 0 | + |
| Incineración | ++ | ++ | 0 | ++ |
| Tratamiento térmico | ++ | ++ | 0 | + |

0 = no efectivo, + = efectivo, ++ = muy efectivo

² Remoción de sobrenadante

³ Reducción de metales solubles

Adaptado bibliografía [4] Vesilind

Tabla 2.7 Características de los procesos aerobios y anaerobios

| Aerobio | Anaerobio |
|--|--|
| $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \longrightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O$ | $C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 3 CO_2 + 3 CH_4$ |
| $\Delta G^\circ = -2840 \text{ Kj/mol gluc}$ | $\Delta G^\circ = -393 \text{ Kj/mol gluc}$ |
| <ul style="list-style-type: none"> · Mayor eficiencia de remoción. · Operatividad comprobada. · 50% de C es convertido en CO₂, 40-50% es incorporado dentro de la masa microbiana. · 60% de la energía es almacenada en la nueva biomasa, 40% es perdido como calor. · Ingreso de elevada energía para aireación. · Limitación de cargas orgánicas. · Se requiere adición de nutrientes. · Requerimiento de grandes áreas. · Periodos de arranque cortos. · Tecnología establecida. | <ul style="list-style-type: none"> · Menor producción de lodos. · Menores costos de operación. · 95% de C es convertido en biogás; 5% es transformado en biomasa microbiana. · 90% de la energía es retenida como CH₄, 3-5% es perdido como calor, 5-7% es almacenada en la biomasa. · No requiere de energía. · Acepta altas cargas orgánicas. · Degrada compuestos policlorados. · Requerimiento bajo de nutrientes. · Se requiere pequeña área superficial. · Largos periodos de arranque. |



eliminación de ambas características así como reducción de compuestos tóxicos presentes se debe tener en cuenta. Es así que al hacer un recuento de las opciones de estabilización la digestión anaerobia se convierte en una de las mejores opciones por lo que en posteriores capítulos se detalla la estabilización de lodos residuales por esta vía.