

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL**



**“VALORACIÓN DE LODOS PROVENIENTES DE LAS PLANTAS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO QUÍMICO

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR:

SOFÍA MIÑANO SUÁREZ

LIMA – PERÚ

2004

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL**



**“VALORACIÓN DE LODOS PROVENIENTES DE LAS PLANTAS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO QUÍMICO

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR:

SOFÍA MIÑANO SUÁREZ

LIMA – PERÚ

2004

INDICE

1.- RESUMEN.....	4
2.- INTRODUCCIÓN.....	5
3.- BIOSÓLIDOS.....	7
3.1.- ORIGEN DE LOS BIOSÓLIDOS.....	7
3.2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS BIOSÓLIDOS.....	10
3.3.- PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.....	12
4.- DESARROLLO DEL TEMA.....	15
4.1.-LODOS CRUDOS.....	15
4.2.-PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LODOS CRUDOS.....	15
4.2.1.-PROCESOS FÍSICOS.....	16
4.2.2.-PROCESOS QUÍMICOS.....	19
4.2.3.-PROCESOS BIOLÓGICOS.....	20
4.2.4.-PROCESOS TÉRMICOS.....	22
4.3.-PROCESOS CONVENCIONALES UTILIZADAS PARA LA DISPOSICION FINAL DE LODOS.....	24
4.4.-DIFICULTADES TÉCNICO/AMBIENTALES DE LOS PROCESOS CONVENCIONALES DE DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS TRATADOS Y ESTABILIZADOS.....	25
4.5.-EL EMPLEO DE LODOS ESTABILIZADOS COMO AYUDA NUTRIENTE, Y SUS VENTAJAS INTRÍNSECAS.....	26
4.6.-RESTRICCIONES TÉCNICAS/AMBIENTALES AL USO DE LODOS TRATADOS/ESTABILIZADOS COMO AYUDA NUTRIENTE.....	29
4.7.-EJEMPLO DE FACTIBILIDAD DE LA APLICACIÓN DE LODOS PROVENIENTES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS, EN LA AGRICULTURA.....	31
4.8.-EJEMPLO DE USO DE LODOS PARA FORMAR COMPOST.....	34
4.9.-LEGISLACIÓN PERUANA RESPECTO A LODOS CRUDOS Y LODOS TRATADOS/ESTABILIZADOS.....	36
4.10.-LEGISLACIÓN EXTRANJERA RESPECTO AL USO AGRÍCOLA DE BIOSÓLIDOS.....	37

4.11.-CONVENIENCIA/LIMITACIONES DE USAR BIOSOLIDOS COMO AYUDA NUTRIENTE EN EL PERÚ. SITUACIÓN ACTUAL RESPECTO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS Y DE LOS LODOS QUE PRODUCE, ASÍ COMO SU PROYECCIÓN EN UN FUTURO INMEDIATO Y A MEDIANO PLAZO.....	41
5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
6.- BIBLIOGRAFÍA.....	48
7.- GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	53

1.- RESUMEN

La puesta en operación de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas implica la generación de un subproducto tal como los lodos, cuyo destino final actual es ser depositado en rellenos sanitarios y vertederos. Lo dicho anteriormente, sumado al impacto ambiental y social que genera la ocupación de suelos que cada vez son más escasos y más importantes para el desarrollo de la actividad agrícola, y las posibilidades de ocasionar un efecto ecotóxico al suelo por la incorporación de lodos no estabilizados, es motivo suficiente para estudiar las posibilidades de reutilización de estos lodos.

El presente informe tiene por finalidad exponer las experiencias que se vienen desarrollando en otras partes del mundo, con respecto a la aplicación de lodos en plantaciones agrícolas, buscando así dar una salida viable para la reutilización de estos lodos de manera responsable en vez de que acaben en vertederos, lo cual resulta improductivo, costoso e ineficaz desde el punto de vista ambiental. Es a partir de dichas experiencias que se deben analizar y proponer las alternativas técnicas y económicas adecuadas para un futuro en nuestro país, a medida que se vaya incrementando el número de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, lo que daría como resultado la generación de lodos en proporciones considerables.

De igual forma, se expondrá en el presente informe los beneficios y riesgos de la aplicación de estos lodos en la agricultura, en vista que en los últimos tiempos ha demostrado ser una alternativa interesante a la hora de decidir una forma adecuada de disposición de dichos lodos. Asimismo, se verán algunas normativas sobre la aplicación de estos lodos a los suelos, las cuales se han implementado en algunos países y en otros están en proyectos. Dichas normativas, darán las pautas bajo las cuales se tendrán que utilizar los lodos de manera responsable y eficaz.

2.-INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos se están implementando plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en las grandes ciudades, y la velocidad de desarrollo de las políticas ambientales hará que en un futuro próximo estas plantas estén a pleno funcionamiento, con lo cual se empezarán a producir y por ende acumularse en rellenos sanitarios o vertederos gran cantidad de lodos, los cuales podrían colapsar. El uso de lodos domésticos tratados en la agricultura está respaldado por más de diez años de experiencia en el mundo, así como los respectivos estudios e investigaciones de los aspectos ambientales relacionados al uso de estos lodos, tales como, el contenido de metales pesados, microorganismos, nutrientes; y, patógenos presentes en dichos lodos.

El uso de materia orgánica en la agricultura es milenario, sin embargo paulatinamente fue experimentando un decrecimiento considerable, probablemente a causa de la introducción de los fertilizantes químicos que producen mayores cosechas a menor costo. Sin embargo, durante los últimos años se ha observado un creciente interés sobre la materia orgánica, habiendo experimentado en el mercado un gran auge, ligado al tema de los residuos orgánicos, que encuentra una aplicación y el desarrollo de nuevas tecnologías.

Por lo expuesto, el presente informe expone la alternativa de utilizar los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en los suelos agrícolas, cuya gestión global carece de una solución simple y efectiva, siendo el objetivo principal reducir el grado de contaminación y favorecer su reciclado.

De ésta forma se propone una salida factible de reutilización de estos lodos, obteniéndose, no solo beneficios ambientales, sino también otorgándole un valor económico al poder ser utilizados como fertilizante de suelos tanto forestales

como agrícolas; siendo ésta última aplicación materia de estudio en el presente trabajo.

El objetivo general que persigue el presente informe es hacer una exposición acerca del manejo actual que se le viene dando a los lodos procedentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, así como su aplicación en la agricultura, mientras que los objetivos específicos son: exponer los distintos procesos de tratamientos que se le pueden dar a los lodos procedentes de este tipo de plantas de tratamiento, conocer técnicas comúnmente utilizadas en su disposición final y sus respectivas limitaciones, mostrar las disposiciones legales vigentes tanto en Europa y países de América como en el Perú referidas a la aplicación de estos lodos como fertilizantes, y finalmente discutir la conveniencia de utilizar en nuestro país esta tecnología.

3.- BIOSÓLIDOS

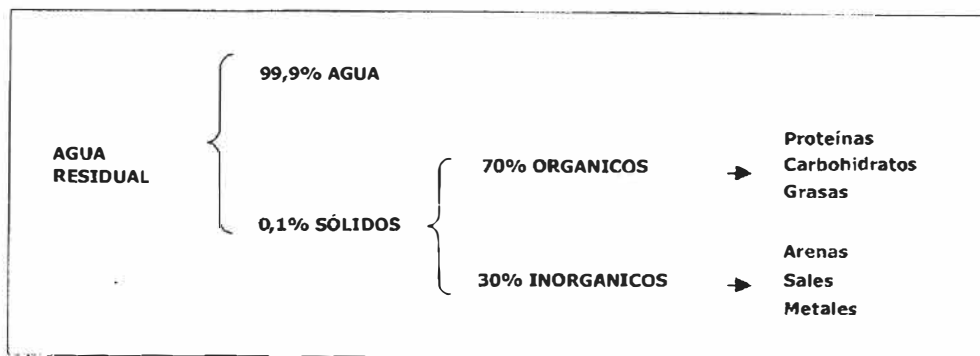
3.1. ORIGEN DE LOS BIOSÓLIDOS

Se define como *biosólidos* a aquellos lodos o barros orgánicos que se generan en las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, que por su contenido de nutrientes y por características adquiridas después de un proceso de estabilización pueden ser susceptibles de aprovecharse. Tal que dicho proceso de estabilización incluye la reducción de su nivel de patogenicidad, su poder de fermentación y su capacidad de atracción de vectores; otorgándoles aptitud para su utilización como fertilizante agrícola y para la recuperación de suelos o sitios degradados.

La depuración de las aguas residuales domésticas implica retirar las sustancias contaminantes mediante diferentes procesos de separación (física y biológica), obteniéndose un efluente líquido y una fracción de lodos. Esta separación no es completa: por una parte la fracción líquida mantiene ciertos niveles de sólidos suspendidos y sustancias disueltas, mientras que los lodos se caracterizan por un contenido elevado de agua, acompañados de materia orgánica, nutrientes, patógenos, así como metales y químicos orgánicos tóxicos en algunos casos. Es así que a estos lodos se les somete a tratamientos de estabilización, para disminuir su contenido patógeno. Se puede resumir diciendo que los *biosólidos son aquellos lodos orgánicos que se originan como un subproducto residual del tratamiento biológico de las aguas.*

En la **Fig. 1** se muestra la composición típica de las aguas residuales, donde el 0,1% (en peso) corresponde a la fracción sólida, y aproximadamente el 70% de esa fracción sólida corresponde a sólidos orgánicos, motivo por el cual se busca su valoración.

Composición Típica de las Aguas Residuales



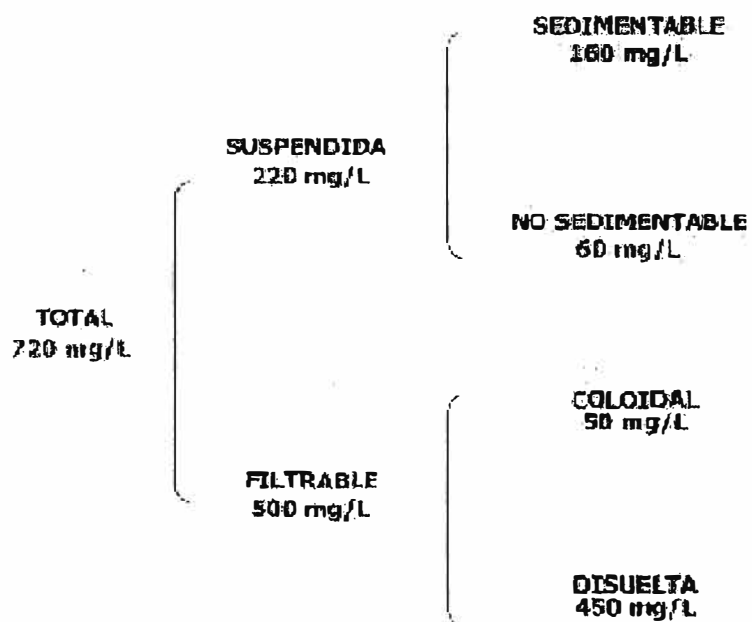
Fuente: "Fundamentos de ingeniería para el tratamiento de los biosólidos generados por la depuración de aguas servidas de la región metropolitana"

<http://cabierta.uchile.cl/revista/21/articulos/pdf/rev3.pdf>

Fig. 1

Así mismo en la **Fig. 2**, se muestra la distribución de los sólidos en el agua residual urbana típica; en ella se puede apreciar que de los sólidos totales, éstos se dividen en sólidos en suspensión (no filtrables) y sólidos filtrables. Cada una de estas categorías puede ser clasificada en función de su volatilidad a $550^{\circ} \pm 50^{\circ}$ C. A esta temperatura la fracción orgánica se oxida formando gas, quedando la fracción inorgánica en forma de cenizas. Debido a lo anterior se habla de sólidos "volátiles" y "fijos". Los sólidos volátiles corresponden a la fracción orgánica y los sólidos fijos corresponden a inorgánicos o minerales.

Distribución de los Sólidos en Aguas Residuales Urbanas Típicas



Fuente: "Fundamentos de ingeniería para el tratamiento de los biosólidos generados por la depuración de aguas servidas de la región metropolitana"

<http://cabierta.uchile.cl/revista/21/articulos/pdf/rev3.pdf>

Fig. 2

3.2.-*CARACTERÍSTICAS DE LOS BIOSÓLIDOS*

Las características físico-químicas de los biosólidos varían en función de su origen, su edad y el tipo de proceso de donde se han generado. Entre las características más importantes de los biosólidos podemos citar:

- Físicamente, los biosólidos presentan un color marrón, que cambia a casi negro cuando están a punto de la descomposición.
- Su olor es el de tierra (no es molesto), sin embargo, cuando están a punto de la descomposición producen un olor bastante desagradable.
- La fluidez y la plasticidad de los biosólidos dependerá del contenido de agua y la naturaleza de los sólidos presentes.
- Las características químicas de los biosólidos están relacionadas a sus cinco constituyentes principales: contenido orgánico, nutrientes, patógenos, metales y químicos orgánicos tóxicos.

El contenido orgánico presente en los biosólidos se expresa generalmente como el porcentaje que representan los sólidos volátiles removidos tras someter al biosólido a una temperatura de 550 °C bajo condiciones de oxidación. La determinación del contenido orgánico en los biosólidos es importante para conocer el valor térmico, un potencial olor, para su utilización como mejorador de suelos y para la generación de biogás.

Los nutrientes presentes en los biosólidos provenientes del tratamiento de aguas servidas domésticas contienen tres elementos esenciales para el crecimiento de las plantas: *nitrógeno, fósforo y*

potasio (NPK), los cuales pueden estar en diversas formas químicas.

Los patógenos; los biosólidos son principalmente biomasa residual, los cuales están constituidos por una heterogénea y significativa población de microorganismos como bacterias, virus, entre otros y que se concentran durante el proceso de depuración de las aguas servidas. Los lodos crudos o no estabilizados son portadores de agentes patógenos que pueden causar enfermedades. Motivo por el cual a dichos lodos se les aplica diferentes tratamientos que reducen, pero no eliminan completamente tales portadores.

Los biosólidos pueden contener cierta concentración de **metales pesados** tales como el boro, cadmio, cromo, plomo, níquel, mercurio, plata y zinc (que pueden ser expresados en ppm), los cuales son micronutrientes esenciales requeridos por las plantas, y a bajas concentraciones constituyen un aporte nutritivo al suelo, sin embargo a altas concentraciones pueden ser tóxicos. Dichos metales están en función de los residuos industriales que podrían ser descargados al alcantarillado. En las grandes ciudades es común que muchas industrias descarguen sus efluentes a través de la red de alcantarillado, los cuales, aunque cumplen con las normativas de descarga, poseen concentraciones de metales que se unen a las aguas servidas que posteriormente serán tratadas en las plantas de tratamiento.

Los químicos orgánicos tóxicos; pueden estar presentes en el lodo generado en una planta de tratamiento de aguas residuales, tales como algunas sustancias orgánicas sintéticas aportadas por los

efluentes industriales, y productos químicos utilizados en los hogares.

3.3.-PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Las aguas residuales domésticas son desechos líquidos provenientes del uso doméstico. Dichas aguas llevan disueltas o en suspensión una serie de materias orgánicas e inorgánicas que provienen de la descarga de sumideros, fregaderos, inodoros, cocinas, lavanderías, y algunas veces residuos de origen industrial. Por lo que, para dichas aguas residuales existen sistemas de alcantarillado que terminan confluyendo a un sistema colector de aguas cloacales, que deberían terminar en una planta de tratamiento.

El contenido orgánico de las aguas residuales domésticas, susceptible de ser descompuesto en forma natural (biodegradación), puede llegar al 80 % de las sustancias de dichas aguas. En su depuración natural (autodepuración) o artificial (plantas de tratamiento de aguas residuales) ese contenido es eliminado o transformado, incluyendo parte de las sustancias inorgánicas.

La parte de la materia orgánica contaminadora se mide internacionalmente en términos de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), que es la cantidad de oxígeno absorbido durante la oxidación biológica de los componentes orgánicos biodegradables de una muestra de agua. El ciudadano, normalmente produce entre 40 y 60 gramos DBO/día.

Los tratamientos de las aguas residuales domésticas podemos clasificarlos en función de los rendimientos alcanzados en el proceso de depuración o según la fase de depuración en la que se sitúan:

Pre-Tratamiento: Tratamientos mediante los cuales se retiran del agua residual aquellos sólidos de mayor tamaño y cuerpos extraños o voluminosos tales como: arenas, gravas, aceites, grasas, ramas, telas, latas, plásticos, papel, animales muertos, etc.; que por su naturaleza provocarían obstrucciones en las diferentes unidades de las etapas posteriores del proceso. Entre los procesos que se pueden utilizar se pueden citar al cribado, desmenuzado, desarenado-desengrasado, entre otros.

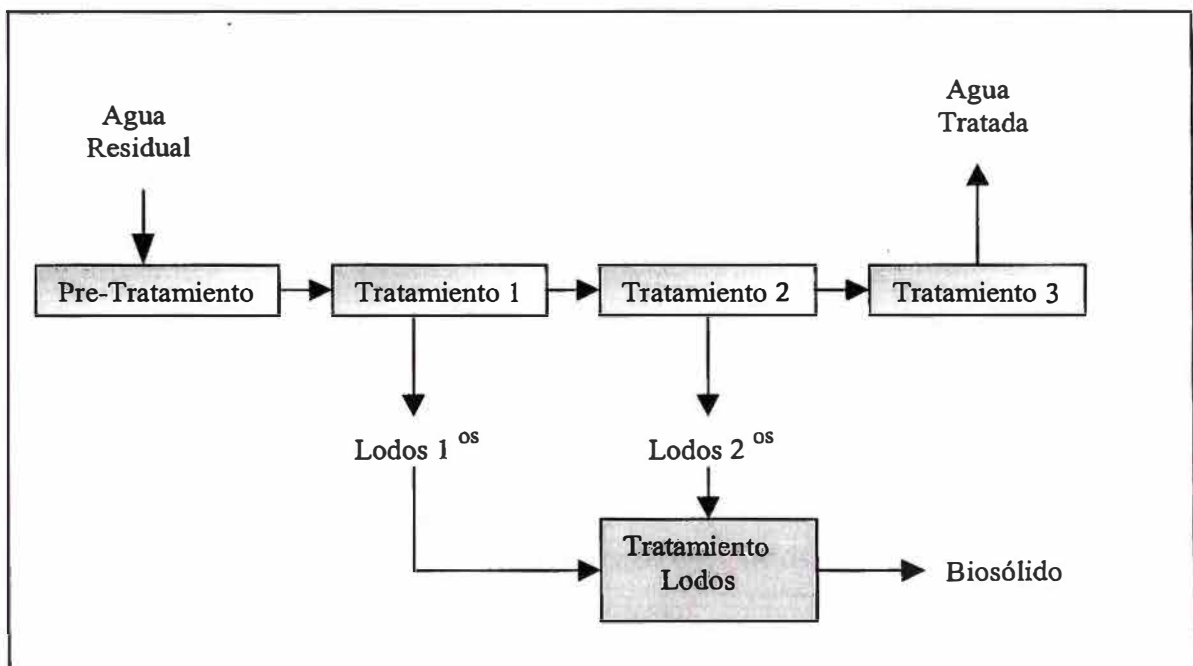
Tratamiento primario o físico: Consiste en la remoción de sólidos suspendidos y flotantes que lograron pasar el pre-tratamiento, usando para ello operaciones tales como: la sedimentación, donde se emplea la gravedad terrestre para que sedimenten los sólidos, la filtración, y la flotación. El tratamiento primario en una planta se diseña para eliminar entre el 30 y 50 % de los sólidos suspendidos en el agua residual.

Tratamiento secundario o biológico: Después del tratamiento primario se busca remover la materia orgánica disuelta y coloidal contenida en el agua residual mediante la acción de microorganismos. El tratamiento biológico, es por tanto, la degradación de la materia biodegradable presente en el agua residual con la participación de bacterias, el cual se ejecuta para acelerar un proceso natural y así evitar posteriormente la presencia de contaminantes y la ausencia de oxígeno en los distintos cuerpos de agua. Pudiendo llevarse a cabo este tratamiento secundario mediante procesos aerobios y/o anaerobios, tales como lodos activados, lecho bacteriano, lagunas aireadas, lagunas facultativas, entre otros.

Tratamiento terciario o tratamiento avanzado: Es el procedimiento capaz de eliminar la carga orgánica remanente del tratamiento secundario, remover contaminantes reacios como los fosfatos y nitratos, eliminar microorganismos patógenos, tóxicos no biodegradables, además de color y olor indeseables; para lograr un agua más pura, incluso potable si se desea. Se usan diversos procedimientos según el uso posterior que se le quiera dar al agua, tales como: la

radiación ultravioleta, adsorción con carbón activado, ultra filtración, ósmosis inversa, ozonización, cloración, entre otros. Estos procesos son capaces de eliminar el 98 % de los contaminantes.

Secuencia de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas



Fuente: "Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas"

<http://www.uc.cl/quimica/agua/tratamiento.htm>

Fig. 3

Tratamiento de lodos: Los lodos que se retiran tanto de los tratamientos primarios como de los secundarios, serán susceptibles de ser tratados y transformados en abonos orgánicos y poder ser utilizados como fertilizantes de suelos.

4.- DESARROLLO DEL TEMA

4.1.-LODOS CRUDOS

Se conocen como lodos crudos a aquellos lodos removidos durante las distintas etapas de tratamiento de aguas residuales, y que no han sido objeto de procesos de estabilización, constituyéndose en subproductos de los tratamientos de aguas residuales.

4.2.-PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LODOS CRUDOS

Los diferentes tipos de procesos aplicables al tratamiento de lodos crudos en las distintas etapas de su tratamiento pueden agruparse en cuatro categorías: físicos, químicos, biológicos y térmicos; de los cuales detallaremos algunos a continuación:

Procesos de Tratamiento de Lodos Crudos

PROCESOS				
FÍSICOS		QUÍMICOS	BIOLÓGICOS	TÉRMICOS
Espesamiento	Desaguado			
Decantación Flotación Centrifugación	Filtración Evaporación	Acondicionamiento Químico Estabilización con Cal. Neutralización Oxido-Reducción Solidificación	Digestión Anaeróbica Digestión Aeróbica Compostaje	Incineración Oxidación por Aire húmedo. Secado

Fuente: "Fundamentos de ingeniería para el tratamiento de los biosólidos generados por la depuración de aguas servidas de la región metropolitana"

<http://cabierta.uchile.cl/revista/21/articulos/pdf/rev3.pdf>

Fig. 4

4.2.1.-PROCESOS FÍSICOS: Son aquellos procesos que están destinados a la separación sólido/líquido, así como la reducción de volumen de los lodos.

a.-ESPESAMIENTO: Proceso mediante el cual se incrementa la concentración de sólidos en el lodo, mediante la eliminación en parte de su fracción líquida. Consiguiéndose así una disminución importante del volumen, así como la homogenización de lodos. Entre algunos métodos de espesamiento citaremos:

- **Decantación por gravedad,** utilizado en plantas de tratamiento pequeñas, se aplica a lodos crudos, lodos mezclados y lodos activados.

Ventajas:

- Operación sencilla.
- Bajos costos de operación y mantenimiento.

Desventajas:

- Su aplicación es efectiva para tratar lodos primarios.
- Generación de olores.
- Pobre concentración de sólidos.

- **Flotación,** proceso mediante el cual se concentran los lodos de manera natural o provocada con aire, para ayudar a la tendencia natural de flotar de los lodos y luego recogerlos de la superficie. Se aplica a lodos mezclados y activados.

Ventajas:

- Permite una concentración alta del lodo secundario.
- Mayor control operacional.
- Reducido potencial de olores.

- Su aplicación es efectiva para tratar lodos activados.

Desventajas:

- Es utilizada primordialmente para lodos secundarios.
- Mecánicamente más complejo.
- Altos requerimientos de operación y mantenimiento.
- A cargas de sólidos elevadas disminuye el rendimiento de la operación.

- **Centrifugación**, proceso mediante el cual se aplica una fuerza centrífuga para separar sólidos de líquidos por diferencias de densidad.

Ventajas:

- Puede ser empleada con flujo constante o discontinuo.
- Excelentes resultados en lodos de difícil tratamiento.
- Gran capacidad de procesamiento en un área pequeña.
- Menor potencial de olores.
- Recomendable para lodos activados.

Desventajas:

- Alto costo inicial.
- Requiere utilización de energía.
- Puede generar alta concentración de carga contaminante en el líquido recirculado a la planta.
- Mantenimiento constante.

b.- DESAGUADO: Consiste en la remoción de agua del lodo, tanto como sea posible, reduciendo el volumen a tratar en operaciones subsecuentes.

- **Filtración;** el proceso de filtración puede ser utilizado para todo tipo de lodos. Citaremos algunos tipos de filtración utilizados:

Filtración al vacío: Es una operación de filtración continua que generalmente se produce en un tambor cilíndrico rotativo. A medida que el tambor rota, parte de su circunferencia es sometida a vacío interno que

atrae el lodo hacia el medio filtrante y elimina agua para su posterior tratamiento. La torta de lodo deshidratado se remueve con un raspador. La función de esta operación es reducir el contenido en agua presente en los lodos desde el intervalo de 5-10% de agua hasta el 20-30%.

Ventajas:

- No requiere de personal calificado.
- Costos de mantenimiento bajos.

Desventajas:

- Alto consumo de energía por unidad de lodo deshidratado.
- El líquido filtrado puede tener un elevado contenido de sólidos dependiendo del medio filtrante.

Filtro Prensa: En esencia consta de un serie de placas de fundición o cualquier material moldeado, con caras acanaladas sobre las que se intercalan unas telas filtrantes; el fango previamente acondicionado se introduce en las cámaras que forman cada dos placas contiguas y se somete el conjunto a una elevada presión, del orden de 300Kg/cm^2 , por medio de un dispositivo hidráulico.

Ventaja:

- Baja concentración de sólidos en el líquido filtrado.

Desventajas:

- La operación es discontinua y muy laboriosa.
- Elevado costo de los equipos.
- Los equipos requieren de una gran superficie física.

Filtro de Banda: Consiste en una banda continua de tela filtrante que pasa a través de unos rodillos giratorios, el fango se vierte de forma continua sobre la banda, y posteriormente al pasar entre los rodillos es comprimida, y una placa rascadora va separando el fango deshidratado de la banda.

Ventajas:

- Bajos costos energéticos.

- Costos de inversión relativamente bajos.
- Fácil mantenimiento.
- Genera una torta de sólidos bastante seca.
- Flexibilidad operativa.

Desventajas:

- Muy sensible a las características del lodo.
- Requiere adición de un polímero (polielectrolitos)

- **Evaporación;** método de deshidratación natural de lodos más utilizado, pudiendo utilizarse para este fin, por ejemplo, canchas de secado.

Ventajas:

- No requiere energía adicional.
- Lodo con alta concentración de sólidos.
- Bajo o nulo requerimiento de aditivos químicos.

Desventajas:

- Precisa de amplios terrenos.
- Depende de condiciones climáticas.
- Requiere de una gran cantidad de mano de obra para ser retirado.

4.2.2.-PROCESOS QUÍMICOS: Se caracterizan por la adición de químicos al lodo para generar su estabilización, modificando las características físicas, químicas y biológicas de los lodos para su posterior manipulación.

- **Acondicionamiento químico,** tratamiento que consiste en la adición de productos químicos tales como el cloruro férrico, cal, polímeros orgánicos, etc.; los cuales se agregan con el propósito de mejorar las condiciones de deshidratación de los lodos. Se aplica a todo tipo de lodos.

Ventaja:

- Favorece la deshidratación del lodo.

Desventajas:

- Requiere aditivos en forma líquida tales como (polímeros, cal, cloruro

férrico, etc.).

- Requiere ensayos de laboratorio para escoger el aditivo, dependiendo de las características del lodo donde va a ser utilizado.

- **Estabilización con cal**, consiste en aumentar y mantener el lodo a pH 12, mediante la adición de cal viva (CaO) o cal hidratada (Ca (OH)₂). Se aplica a todo tipo de lodos.

Ventajas:

- Se requiere controlar el pH manteniendo su valor en 12, para lograr la estabilización.
- Inhibe, reduce o elimina la posibilidad de putrefacción de los lodos, con lo cual no se generarán olores y se reducirá la presencia de patógenos.
- La mayoría de microorganismos se encuentran inactivos, debido a la generación de una reacción exotérmica que permite elevar la temperatura sobre los 50° C.

Desventaja:

- Genera una mayor cantidad de sólidos por la aplicación de cal.

4.2.3.-PROCESOS BIOLÓGICOS: Implican la acción de microorganismos, a los cuales se les otorga las condiciones óptimas para llevar a cabo el proceso de estabilización de los lodos.

- **Digestión Anaeróbica;** Es uno de los procesos más utilizados en la degradación de la materia orgánica, ocurre en ausencia de aire y generando biogás. El objetivo de este tratamiento es la estabilización y reducción de masa del lodo. Se aplica a todo tipo de lodos.

Ventajas:

- Reduce la concentración de materia orgánica en el agua residual.
- El producto generado se encuentra estabilizado.
- Genera una escasa cantidad de biomasa.

Desventajas:

- Poca generación de metano.
- Baja remoción de patógenos.
- Alto costo inicial.
- Caudales residuales de baja calidad debido a la presencia de agentes patógenos.

- **Digestión Aeróbica**, se refiere a la degradación de la materia orgánica en presencia de aire, obteniéndose como productos anhídrido carbónico (CO_2), amoníaco (NH_3) y agua (H_2O). Se aplica a todo tipo de lodos; tiene como función la estabilización y reducción de masa de los mismos.

Ventajas:

- Se reducen los sólidos volátiles en cantidad aproximadamente igual a la obtenida en la digestión anaerobia.
- Produce lodos biológicamente estables del tipo humus exento de olores.
- Es un proceso sencillo de operar.
- Presenta bajo costo inicial.

Desventajas:

- Se realiza en presencia de aire.
- Es un proceso más sensible a la temperatura y al clima que en la digestión anaerobia.
- Existe un mayor gasto energético por la incorporación de aire.

- **Compostaje**, proceso en el cual la materia orgánica sufre una degradación biológica hasta alcanzar su estabilidad, llevándose a cabo en condiciones aerobias. El lodo compostado correctamente genera un humus higiénico, libre de olores y sustancias patógenas. Se aplica a lodos con contenido de materia orgánica.

Ventajas:

- Genera un material tipo humus, higiénico y libre de olores.
- Destruye los microorganismos patógenos.
- Puede realizarse en condiciones aerobias.

Desventajas:

- Requiere control del pH, humedad y temperatura.
- Existen limitaciones de espacio y dependencia de las variaciones climáticas.

4.2.4.-PROCESOS TÉRMICOS: Consiste en someter los lodos a altas temperaturas (la temperatura de operación normal varía desde 120° a 180° C), de manera que se inhiban o eliminen la acción de microorganismos dañinos tal como los microorganismos patógenos.

- **Incineración**, proceso térmico en el que se realiza una oxidación química con cantidades en exceso de oxígeno. Los productos finales incluyen cenizas y gases calientes de combustión como el nitrógeno, CO₂ y vapor de agua. Se aplica a todo tipo de lodos y tiene como función la reducción de volumen de los lodos.

Ventajas:

- Máxima reducción de volumen.
- Destrucción de patógenos.

Desventajas:

- Elevados costos de inversión.
- Potencial contaminación del aire.
- Requiere mano de obra calificada.

- **Secado:** Permite eliminar el agua mediante la aplicación de calor externo, tal que el producto resultante contiene prácticamente todo el material sólido y su contenido de humedad es del orden del 5% al 10%. Se aplica a todo tipo de lodos y tiene como función principal la reducción de volumen y peso.

Ventaja:

- Genera mucho menos aire contaminado que en la incineración.

Desventajas:

- Requiere calor auxiliar.
- Requiere un manejo de olores y cenizas generadas.

4.3.-PROCESOS CONVENCIONALES UTILIZADOS PARA LA DISPOSICION FINAL DE LODOS

Existen otras posibilidades para la disposición final de los lodos procedentes del tratamiento de efluentes domésticos, tales como:

- **Acondicionamiento de lodos en niveles inferiores del suelo o subsuelo**

Se refiere a disponer o colocar los lodos previamente tratados en niveles inferiores del suelo. Este procedimiento no permite valorizar el lodo como materia prima.

- **Incineración,**

Con este proceso los lodos reducen su volumen hasta un 20% del volumen original. La materia inorgánica contenida en los lodos se reduce a cenizas, y la materia orgánica se oxida formando gases, destruyéndose virtualmente todos los sólidos volátiles y los patógenos. Permite el aprovechamiento energético de los lodos, dependiendo el poder calorífico exclusivamente de su contenido en materia orgánica. Sin embargo, no es muy rentable este método, salvo en casos de eliminar sustancias tóxicas no aprovechables que no generen metales volátiles tóxicos.

4.4.-DIFICULTADES TÉCNICO/AMBIENTALES DE LOS PROCESOS CONVENCIONALES DE DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS TRATADOS Y ESTABILIZADOS.

Algunos inconvenientes de utilizar Los procesos mencionados en el punto 4.3, son:

- **En la incineración**

Existe la posibilidad que durante la degradación de los compuestos químicos tóxicos se formen dioxinas y productos de combustión incompleta. Desde el punto de vista ambiental se ha tener presente que los metales pesados presentes en los lodos pueden formar especies volátiles en la zona de combustión, condensando sobre las partículas de ceniza volante, e incluso algunos de ellos como As, Hg, y Pb pueden volatilizar por efecto de la temperatura, lo que hace desaconsejable este procedimiento. Además, este procedimiento presenta el inconveniente de requerir instalaciones que exigen una fuerte inversión económica y personal altamente especializado.

- **Acondicionamiento de lodos en niveles inferiores del suelo o subsuelo**

También conocido como relleno en el suelo, el cual genera riesgo de contaminación de las aguas subterráneas.

4.5.- EL EMPLEO DE LODOS ESTABILIZADOS COMO AYUDA NUTRIENTE, Y SUS VENTAJAS INTRÍNSECAS.

La depuración de aguas, nombre que reciben los distintos procesos implicados en la extracción, tratamiento y control sanitario de los productos de desecho arrastrados por el agua procedentes de: desperdicios domésticos de viviendas, industrias, municipios y actividades agrícolas, cobró importancia desde principios de la década de 1970, como resultado de la preocupación general en todo el mundo sobre el problema de la contaminación del medio ambiente. Es así que debido a la creciente generación de lodos procedentes de esa depuración de aguas residuales domésticas, se comienzan a generar problemas para su almacenamiento y sobre todo para su eliminación. Por lo que surge el planteamiento de dar una vía adecuada para la eliminación de dichos lodos, que debido a su composición, se convierten en una fuente de materia orgánica y de elementos fertilizantes para su utilización en la actividad agrícola, forestal, planes de remediación de faenas mineras, mejoramiento de suelos erosionados, cobertura en rellenos sanitarios, así como manutención de parques. De esta forma se produce un doble beneficio tanto ambiental como agrario. Lográndose su eliminación sin alteración relevante del equilibrio ecológico, al permitir su incorporación a los ciclos naturales de la materia y la energía.

Entre algunas ventajas de los biosólidos, podemos citar; previo al análisis de su aplicación:

- Los biosólidos son de fácil almacenamiento, del mismo modo que su aplicación a los suelos, debido a que son productos semisecos, de poco olor y de mayor flexibilidad que los fertilizantes químicos.
- Los biosólidos compostados son de lenta descomposición, es así que liberan sus nutrientes gradualmente, constituyéndose en una fuente permanente de nutrientes tal como el nitrógeno y fósforo, para los suelos.

- La aplicación de los biosólidos al suelo también es beneficiosa para mejorar la estructura del suelo. La materia orgánica contenida en los biosólidos ayuda a mantener la porosidad del suelo, lo que permite el paso del agua y aire a través del mismo, lo cual es importante para mantener un suelo rico en oxígeno para las raíces de la planta. Esta porosidad puede perderse a través del uso excesivo del suelo.
- La materia orgánica presente en los biosólidos ayuda al suelo a retener agua. Esta retención extra de agua, reduce la necesidad de regar con frecuencia dichos suelos.
- Los biosólidos aumentan la resistencia de los suelos a la erosión provocada por el agua y el viento.
- Los biosólidos ayudan a estabilizar el pH del suelo, debido a que algunas veces dichos biosólidos son químicamente estabilizados con cal, la cual aumenta el pH del suelo. Los suelos con pH alto tienden a retener los metales pesados, disminuyendo el riesgo de que estos metales pasen a las aguas del subsuelo.

Entre los *componentes de los biosólidos que son beneficiosos*, podemos citar:

- **Nitrógeno**, es el nutriente básico para el crecimiento de la planta. Está presente en el suelo en diferentes formas. En los biosólidos está en forma de amonio, nitratos y nitrógeno orgánico. El nitrógeno del amonio y nitratos están listos para ser usados por la planta. El nitrógeno orgánico es liberado lentamente durante muchos meses, proveyendo continuamente nitrógeno a los cultivos y minimizando el movimiento potencial del nitrógeno a las aguas del subsuelo. El nitrógeno disponible para la planta en cualquier momento es menor que la cantidad total, debido a la dinámica del *ciclo del nitrógeno* en el suelo.

- **Fósforo**, es un nutriente básico para el crecimiento de la planta y está presente en todos los biosólidos en diferentes concentraciones.
- **Micronutrientes**, incluyendo diferentes sales y metales, son necesarios para el crecimiento de las plantas y están presentes en los biosólidos en diferentes cantidades.

4.6.-RESTRICCIONES TÉCNICAS/AMBIENTALES AL USO DE LODOS TRATADOS/ESTABILIZADOS COMO AYUDA NUTRIENTE.

El empleo de los biosólidos en la actividad agrícola puede crear problemas ambientales sobre la calidad del agua, el suelo y la salud pública si no son tratados y manejados apropiadamente. A continuación citaremos, algunos componentes de los biosólidos que podrían restringir su uso:

- **Los patógenos pueden estar presentes;** aún cuando los biosólidos sean especialmente tratados o desinfectados para destruir los patógenos, concentraciones significantes de bacterias, virus y parásitos pueden existir en los biosólidos. Los problemas de salud pueden ser prevenidos con un control apropiado del acceso del público a las zonas de aplicación, restricciones en el uso y siembra de ciertos cultivos en las áreas tratadas, zonas de protección alrededor de los pozos de agua, aguas superficiales, canales de drenaje y áreas públicas para prevenir transmisión de patógenos al público.
- **Los metales pesados;** si se aplica demasiada cantidad de metales pesados en los suelos, pueden contaminar las aguas subterráneas, producir toxicidad en las plantas, y tener efectos adversos en los microorganismos del suelo o acumularse en los tejidos de las plantas. Los animales que comen plantas que tienen acumulación de metales pesados pueden sufrir efectos adversos y pasarlos a los animales que comen estos animales contaminados. Haciendo que el uso futuro del suelo como la siembra de cultivos pueda ser restringida si no se limita, observa y controla la presencia de metales pesados en el suelo. Solo algunos de los metales comúnmente encontrados en los biosólidos son conocidos como causantes de problemas en la calidad del agua o en la salud del público, por ello las cantidades presentes de estos metales han sido establecidas para evitar problemas.

- **El nitrógeno sobre-aplicado;** la aplicación en exceso de nitrógeno podría causar la acumulación del mismo en el suelo. El exceso de nitrógeno eventualmente se convertirá en nitratos que pueden pasar al agua del subsuelo. Sabemos que las cantidades elevadas de nitratos en el agua son peligrosas para la salud humana. La sobre-aplicación de nitrógeno puede ser prevenida aplicando biosólidos “en proporciones agronómicas”, es decir, la cantidad de nitrógeno que diferentes tipos de suelo, ciertas plantas y cultivos pueden absorber y usar, sin dejar exceso de nitrógeno en el suelo.
- **Los malos olores pueden generarse,** si los biosólidos no han sido tratados adecuadamente antes de ser aplicados, o si se dejan mojados por muchos días en la superficie del suelo. El cumplimiento de los estándares de tratamiento de biosólidos, previenen o al menos disminuyen las probabilidades de que se generen malos olores y aparezcan insectos molestos. Los biosólidos tratados apropiadamente producirán un mal olor pasajero en la vecindad inmediata del lugar de aplicación; por lo tanto deben proveerse zonas de protección, alrededor de las residencias y áreas públicas.

4.7.-EJEMPLO DE FACTIBILIDAD DE LA APLICACIÓN DE LODOS PROVENIENTES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS, EN LA AGRICULTURA.

Un ejemplo de la factibilidad del uso de este tipo de lodos es la Empresa Metropolitana de Aguas Residuales (EMARSA), que posee una Estación de Depuración de Aguas Residuales (EDAR) en la localidad valenciana de Pinedo (España). Esta estación dispone de dos líneas de fangos, en las que se someten a diversos tratamientos antes de poder ser usados por los destinatarios finales, que en su gran mayoría son agricultores.

En 1997, esta planta llegó a un acuerdo con los agricultores de 24 municipios valencianos para que estos utilizaran como fertilizante para sus campos de cultivo, lodos provenientes de sus instalaciones, en donde se depuran las aguas residuales que provienen de los hogares de la ciudad de Valencia. Los lodos que se generan en esta planta pueden aplicarse a cualquier tipo de cultivo, ya que proceden de aguas residuales urbanas. Dichos lodos son residuos que han sido eliminados de las aguas negras y están compuestos por materia orgánica y elementos aptos para ser reutilizados como abono, entre otros, nitrógeno, magnesio, hierro y fósforo, nutrientes necesarios para el desarrollo de los cultivos.

En las instalaciones de la planta depuradora de Pinedo se han obtenido tras el proceso de depuración de aguas residuales, desde 1997 más de 109.000 toneladas de lodos, de los cuales el 55% se han enviado directamente a los campos de cultivo y el resto a vertederos autorizados para la elaboración de compost. De las 52.000 toneladas de lodos que han recibido los agricultores para abonar sus campos de cultivo, el 80% es empleado en cítricos, el 15% en frutales y el resto en cultivos de huerta.

Durante dos años y medio, técnicos de la Depuradora de Pinedo y del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) han efectuado un seguimiento sobre los efectos de los lodos en cada una de las parcelas abonadas.

Habiéndose observado que la combinación de los lodos de depuradora y una dosis menor del fertilizante habitual, causa mejores resultados en los cultivos que el abonado con los productos tradicionales.

Es importante destacar que los agricultores consiguieron reducir los costos de cultivo por dos motivos principales:

- No deben efectuar desembolso económico alguno por los lodos ofrecidos por la depuradora.
- Y además, disminuye la cantidad de fertilizante mineral anual utilizado.

Este acuerdo entre EMARSA, el IVIA y los agricultores se lleva a cabo siguiendo determinados pasos. Para comenzar, se establece contacto con el propietario del terreno interesado a recibir lodos como abono para sus tierras; a continuación se visita la finca y se estudia la parcela, fase en la cual se prepara el terreno. Los técnicos de EMARSA recogen muestras del suelo, según el tipo de cultivo al cual se dedica, así como la variedad del mismo. Estas muestras se entregan posteriormente a IVIA, junto con los lodos, para que los analicen. De tal manera que la descarga de los lodos se hace atendiendo a la dosis óptima de abono que se determine como resultado del análisis de los lodos, del suelo y del cultivo.

Una de las características de este proceso es la elaboración de un informe anual que se entrega al agricultor, en el cual se le recomienda la cantidad de lodo a usar, así como la reducción del abono mineral. En los años sucesivos, se analizan las parcelas comparándolas con el “testigo”, que es la porción de terreno cultivable previamente señalada e identificada en la cual se seguirán realizando todas las labores, excepto la incorporación del biosólido. Esta zona servirá para comparar a posteriori los datos de un estudio comparativo.

Dicho estudio comparativo consiste en producción, calidad, incorporación de metales al suelo, asimilación de metales pesados en frutos y hojas mediante

análisis del material vegetal, calidad, resistencia a plagas y enfermedades, entre otras. Aparte del estudio de las parcelas donde se aplica el lodo, EMARSA tiene en marcha dos ensayos de hortícolas y cítricos, los cuales constan de seis tratamientos con cuatro repeticiones y donde se estudian a nivel científico todos los factores de suelo y parte vegetativa. Estos tratamientos son, lodo dosis alta, lodo dosis media, lodo dosis baja, estiércol, compost y testigo. La planta de Pinedo lleva dos años con este ensayo, y como mínimo la intención de la compañía es seguir con otros tres. Estos estudios están sujetos a un convenio de colaboración con el IVIA, el cual se encarga de realizar los análisis tanto de lodos, suelos, material vegetal, como de las parcelas.

4.8.-EJEMPLO DE USO DE LODOS PARA FORMAR COMPOST

Actualmente se están estudiando salidas productivas a los biosólidos. Los investigadores analizan las características de los materiales residuales para determinar el procedimiento técnico más apropiado para lograr mezclas que se pueden emplear como productos fertilizantes y mejoradores de suelos, en particular de los agrícolas y forestales.

Valorización de Lodos Procedentes de Efluentes Domésticos con Cenizas de Combustión Madereras

Una de estas técnicas es la valorización de lodos con cenizas madereras, que es la mezcla basada en cenizas de la combustión de la industria maderera y de los lodos residuales. La ventaja fundamental es que dicha mezcla presenta mayores propiedades fertilizantes que las mezclas clásicas, que contienen exclusivamente lodo y cal.

Esta tecnología patentada por la Escuela Politécnica Superior de Lugo (España); mejora también la gestión de las cenizas madereras, donde dichas cenizas por sí solas son consideradas como residuos problemáticos. Con este proceso se obtendrá un producto de alto valor añadido a partir de un subproducto que actualmente carece de valor y acarrea dificultades de gestión. Tanto los lodos como las cenizas madereras suelen acabar en vertederos, lo que resulta improductivo, costoso e ineficaz desde el punto de vista ambiental. Por lo que la técnica de reciclado de estos residuos es la mejor alternativa frente a otras como la incineración.

Así también, una de las formas de mejorar las características de los lodos procedentes de aguas residuales, es mezclarlos con productos alcalinos, en las proporciones adecuadas para estabilizar el lodo residual. En este caso las cenizas son un subproducto netamente alcalino y dotado de importantes cantidades de

nutrientes para los vegetales, lo que permitirá obtener fertilizantes de altas prestaciones, una vez que se hayan mezclado con los lodos y otros materiales complementarios.

Así por ejemplo tenemos la Patente N° **ES 2192144**, referida al “PROCEDIMIENTO PARA LA VALORIZACIÓN DE LODOS PROCEDENTES DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y CENIZAS DE COMBUSTIÓN MADERERAS”, donde se explica en detalle dicho procedimiento.

Fuente: Base Española de Patentes y Marcas

http://www.oepm.es/pdf/2/19/21/2192144_a1.pdf

4.9.-LEGISLACIÓN PERUANA RESPECTO A LODOS CRUDOS Y LODOS TRATADOS/ESTABILIZADOS.

No existe una norma específica para el manejo de lodos crudos, ni para lodos tratados. Por esa razón, se hace necesario crear los lineamientos necesarios para la gestión de dichos lodos, y más específicamente una norma que establezca el manejo de lodos orgánicos en la agricultura.

En los últimos años se ha tenido como marco legal a la Ley de Residuos Sólidos - Ley N° 27314, promulgada el 20 julio del año 2000, en la cual se establecen los lineamientos para el manejo de los residuos sólidos, además de promover la participación del sector privado a través de empresas prestadoras de servicios de recolección de residuos sólidos. En ella se establece que la gestión de los residuos supone un manejo integral y sostenible, en el marco de la política ambiental nacional. Siendo el CONAM (Consejo Nacional del Ambiente) el ente encargado de coordinar con las autoridades sectoriales y municipales la aplicación de la Ley y de resolver en última instancia administrativa los casos de inaplicabilidad de resoluciones y de promover la adecuada gestión de residuos sólidos. En dicha Ley aún está pendiente dar respuesta al manejo integral de residuos tóxicos y peligrosos, ya que si bien se hace referencia a éstos, en la práctica no hay experiencia al respecto, pues no se conocen los riesgos asociados al manipuleo y disposición de este tipo de desechos.

Cabe mencionar que el 22 de Julio del presente año se aprobó el Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos, mediante el cual se podrá ejecutar o llevar a la práctica la Ley de Residuos Sólidos. Tal que en el Artículo 24, párrafo 3^{ro} de dicho Reglamento se califica a los lodos procedentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales como residuos peligrosos, salvo que el generador de dichos lodos demuestre lo contrario con estudios técnicos debidamente sustentados.

4.10.-LEGISLACIÓN EXTRANJERA RESPECTO AL USO AGRÍCOLA DE BIOSÓLIDOS.

La principal ventaja de la utilización de los biosólidos provenientes de las plantas de tratamiento de líquidos residuales deriva de los efectos beneficiosos que se han observado en cuanto a la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, que evitan el empleo de fertilizantes y plaguicidas químicos. Sin embargo, la utilización de estos biosólidos también suscita preocupación en lo que respecta a la contaminación de los alimentos con metales pesados, compuestos orgánicos tóxicos, y patógenos microbianos persistentes.

En algunos países europeos, como Dinamarca y Suecia, prohíben la aplicación de lodos o barros de todo tipo a las tierras destinadas al pastoreo; mientras que en otros, como Alemania y los Países Bajos regulan su utilización en la agricultura.

Por dichos motivos, se hace necesario reglamentar esta práctica a través de normas, directrices y recomendaciones sobre calidad y metodología de aplicación de los biosólidos en agricultura, a fin de que se puedan implementar buenas prácticas agrícolas para manipular este tipo de fertilizantes con el fin de reducir al mínimo los peligros potenciales. A continuación, citaremos un resumen de algunas de las reglamentaciones en unos casos en estudio y en otros en uso, que se han desarrollado en algunos países del mundo sobre la aplicación de biosólidos en la agricultura:

ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMÉRICA

Se viene aplicando la Norma 40 CFR Parte 503; que es la normativa más completa sobre *tratamiento y disposición de biosólidos*. Muchas de las reglamentaciones sobre el tema están basadas en ella, como por ejemplo: El Anteproyecto de Reglamento de Chile y la Norma P4230 de CETESB (Sau Paulo) de Brasil.

La Norma 40 CFR Parte 503:

- ◆ Señala el uso y eliminación de los lodos de drenaje y materia séptica doméstica.
- ◆ Establece los requisitos generales, los límites contaminantes, prácticas administrativas y normas operativas.
- ◆ Incluye las normas para los lodos de drenaje aplicados a la tierra, colocados en superficies de lugares para su eliminación, o quemados en un incinerador.
- ◆ Especifica los procesos que reducen significativamente los patógenos en los lodos aplicados a la tierra.

COMUNIDAD ECONÓMICA EUROPEA

Actualmente se encuentra *en uso* la Directiva 86/278/CEE/86, para la protección del medio ambiente; y, en particular de los suelos. Dicha directiva *establece los principios de lodos en la agricultura* buscando equilibrio entre el interés agrario y el ambiental. Establece también que los Estados Miembros prohibirán la utilización de lodos o la entrega de los mismos para fines de su utilización en pastos, antes de la expiración de un determinado plazo; en cultivos hortícolas y frutícolas durante el período de vegetación, con la excepción de los cultivos frutales; o en suelos destinados a cultivos hortícolas y frutícolas que están normalmente en contacto directo con el suelo y que se consuman normalmente en estado crudo, durante un período de diez meses antes de la cosecha y durante la cosecha misma. Además, dicha norma establece un programa de monitoreo y control de una serie de parámetros de los lodos y el suelo, a fin de evaluar la calidad de los mismos.

ESPAÑA

Se viene aplicando el Real Decreto 1310/9, referido a la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario. El Real Decreto, incorpora la Directiva 86/278/CEE al ordenamiento jurídico español, estableciendo la forma y la dosis

de aplicación de lodos, a fin de prevenir los efectos perjudiciales sobre el suelo, el agua, la cubierta vegetal o la salud humana, con especial atención en los metales pesados. Dicha norma define como “lodos tratados” a aquellos lodos que han recibido un tratamiento por vía biológica, química o térmica, mediante almacenamiento a largo plazo o por cualquier otro procedimiento apropiado, de manera que se reduzca de forma significativa su poder de fermentación y los inconvenientes sanitarios de su utilización. Debido a que está basada en la Directiva 86/278/CEE, también establece un programa de monitoreo y control de una serie de parámetros de los lodos y del suelo, para de este modo evaluar la calidad de los mismos.

ARGENTINA

Actualmente se encuentra *en estudio* el Proyecto de Resolución Ley 20466, el cual recomienda el *compostaje como tecnología de tratamiento de biosólidos*. En dicho proyecto se restringe la utilización de lodos cloacales y residuos sólidos urbanos para la agricultura y establece un programa de monitoreo y control de una serie de parámetros, a fin de acotar la aplicación de metales pesados en suelo. Actualmente este Proyecto de Resolución se encuentra trabado por discrepancias entre organizaciones encargadas de las Políticas Ambientales.

CHILE

En Chile se encuentra *en estudio* el Anteproyecto de Reglamento *referido al manejo de lodos no peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas*. Dicho reglamento se refiere a los lodos generados por plantas de tratamiento de agua potable, de aguas servidas, incluyendo fosas sépticas, así como por plantas de tratamiento de residuos industriales líquidos. Dicha norma además distingue entre los lodos clase A, que son aquellos aptos para uso agrícola sin restricciones por razones sanitarias, y lodos clase B, que son aquellos aptos para uso agrícola, con restricciones de aplicación según el tipo y localización de los suelos o cultivos. Así también en este Reglamento se recomienda una serie de procesos de

reducción de patógenos, variando el tipo de tratamiento a aplicar en función del tipo de lodo del cual se trate.

BRASIL

En Sao Paulo, actualmente se aplica la Norma P4230-CETESB, referida a la aplicación de lodos de sistemas de tratamiento biológico en áreas agrícolas. En ella se excluye a lodos generados en tanques sépticos, residuos recogidos en rejillas y en desarenadores, así como aquellos lodos que contienen dioxinas y furanos. Así también recomienda para la aplicación de los lodos en áreas agrícolas una serie de procesos para la reducción de patógenos, como de la atracción de roedores, moscas, mosquitos u otros organismos capaces de transportar y transmitir agentes infecciosos. Entre dichos procesos se pueden mencionar a: Digestión aerobia y anaerobia, secado, compostaje, estabilización química y metodologías específicas de aplicación e incorporación en el suelo.

4.11.-CONVENIENCIA/LIMITACIONES DE USAR BIOSOLIDOS COMO AYUDA NUTRIENTE EN EL PERÚ. SITUACIÓN ACTUAL RESPECTO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y DE LOS LODOS QUE PRODUCE, ASÍ COMO SU PROYECCIÓN EN UN FUTURO INMEDIATO Y A MEDIANO PLAZO.

1) Las principales **conveniencias** de emplear biosólidos como ayuda nutriente en la agricultura, básicamente serían:

- Poder mitigar el impacto ambiental, utilizando los biosólidos como alternativa a algunos fertilizantes químicos; y
- Ofrecer una alternativa productiva de reutilización de los lodos que se generan en las plantas de tratamiento de efluentes domésticos, en el sector agrícola.

2) Como factores **limitantes** al uso de los biosólidos como ayuda nutriente, se podrían citar:

En relación con los fertilizantes químicos, los biosólidos poseen una menor concentración de nutrientes; sin embargo el uso de los biosólidos como un acondicionador natural permite reducir o eliminar la necesidad de consumir fertilizantes químicos, reduciendo los impactos producidos en el ambiente por la contaminación con elementos químicos.

- Los suelos donde se aplican los biosólidos permanecen inactivos durante un determinado período de tiempo, antes de la siembra.

Situación Actual

Las aguas servidas que se generan en las ciudades de nuestro país por lo general no reciben tratamiento alguno, sino más bien son vertidas a las fuentes naturales de agua generando de este modo problemas de contaminación ambiental, aún cuando existen reglamentaciones que prohíben esta práctica. Salvo los casos

puntuales de las plantas de tratamiento de efluentes domésticos existentes en el país, tales como: La Planta de San Bartolo, la Planta de San Juan de Miraflores, La Planta de Villa el Salvador, la Planta de Carapongo y la Planta Piloto de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNITRAR), en las cuales se llevan a cabo diferentes tratamientos para mitigar la contaminación de nuestras fuentes naturales de agua, y del mismo modo contribuir al uso racional de este recurso hídrico y la recuperación ambiental. Normalmente, de dichos tratamientos se obtiene una porción líquida que es utilizada para el riego de áreas verdes, así como en piscicultura; biogás que sirve como generador de energía eléctrica para motores de combustión; y lodos húmedos los cuales no son dispuestos de manera ambientalmente y económicamente productiva.

Proyección a Futuro

Actualmente se hace necesario que el Estado no solo cree el marco legal adecuado, sino que se cree una gestión ambiental eficaz conjuntamente con la ciudadanía en general, el sector público y privado, para que las leyes, reglamentos u otras ordenanzas se cumplan en cuanto a protección del medio ambiente se refiere. Se espera que en un futuro cercano se siga fomentado la creación de más plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que de esta manera no solo se estará protegiendo nuestro medio ambiente sino que además estaremos valorizando un recurso tan escaso como el agua y los subproductos tales como los biosólidos y el biogás.

Aún cuando la cantidad de lodo que se genera, es aproximadamente 20 Kilos de lodo seco por 1000 m³ de agua residual doméstica, se debe fomentar el uso de los lodos orgánicos que se tienen como resultado del tratamiento de las aguas residuales domésticas, ya que de ese modo estaremos aprovechando una nueva fuente de abono orgánico, constituyéndose así en un aporte valioso para la fertilización orgánica de los cultivos, y convirtiéndose en una alternativa a los fertilizantes químicos muy utilizados actualmente. Pero también se debe tener en cuenta la creación de lineamientos adecuados, tal como un reglamento que regule

su uso como fertilizante, tomando como referencia aquellos que ya se vienen aplicando en otros países, para de ese modo evitar que estos sean utilizados inadecuadamente.

5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES DEL MATERIAL REVISADO:

- 1.- Brindando los tratamientos adecuados a los lodos con contenido orgánico provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, para transformarlos a biosólidos, estaremos disponiendo de ellos en forma ecológicamente responsable.
- 2.- De las técnicas convencionales de disposición final de lodos, tales como la incineración y el acondicionamiento en niveles inferiores del suelo, solo en el primer caso se aprovecha el valor energético de dichos lodos, sin embargo se corre el riesgo de formar compuestos químicos tóxicos durante la combustión; y al acondicionarlos en niveles inferiores del suelo no se logra ningún tipo de valoración.
- 3.- La propuesta de usar biosólidos como fertilizantes, se debe a su contenido de nutrientes tales como Nitrógeno, Fósforo y Potasio (NPK); y además se convierte en una alternativa a algunos fertilizantes químicos reduciendo así el impacto que éstos causan al medio ambiente.
- 4.- Con la utilización de los biosólidos le estamos dando un valor agregado a un subproducto que resulta improductivo y dañino tal como los lodos.
- 5.- Todo biosólido que vaya a ser utilizado como fertilizante de suelos agrícolas deberá cumplir con determinadas características y/o normas de calidad tanto físicas, químicas y biológicas; de lo contrario se deberá disponer de él de una forma distinta a su aplicación a suelos agrícolas.
- 6.- En relación con los fertilizantes químicos, los biosólidos poseen menor contenido de nutrientes. Sin embargo, vale la pena su valoración y posterior

utilización, debido a que el impacto ambiental generado por los fertilizantes químicos se verá reducido.

- 7.- Se debe tener en cuenta que no se pueden aplicar los biosólidos a todo tipo de suelos, ya que existen restricciones y excepciones en cuanto a su aplicación se refiere. Estando limitada su aplicación al tipo y localización de los suelos.
- 8.- El uso de los biosólidos se encuentra condicionado también a la presencia de metales pesados y patógenos, aún cuando estos hayan pasado por distintos tratamientos para reducir el contenido de los mismos.
- 9.- La aplicación de los biosólidos a los suelos agrícolas como fertilizante, trae como consecuencia que dichos suelos permanezcan inactivos durante un determinado período de tiempo, después de su incorporación hasta el momento de la siembra. Tal que dichos períodos de tiempo se alargan cuando se trata de alimentos que se consumen sin cocción, o aquellos que estén en contacto con la superficie de la tierra.
- 10.- La legislación peruana no contempla una norma dirigida específicamente al uso de los biosólidos, como fertilizante. Por lo que en la actualidad el manejo de estos residuos se basa en la Ley General de Residuos Sólidos y en su Reglamento recientemente aprobado.
- 11.- Cabe precisar que la legislación peruana no regula eficientemente las descargas contaminantes que se realizan a nuestros recursos hídricos, por lo que se hace necesaria la revisión de dicho marco legal y sobre todo su cumplimiento.
- 12.- En varios países del mundo se vienen estudiando y en otros aplicando normativas que regulan el uso de los biosólidos como fertilizantes, los cuales podrían servir de base para adaptarlas a nuestra realidad.

- 13.- La cantidad de aguas residuales domésticas que se generan en ciudades muy pobladas como Lima y otras importantes del país, es un grave problema, por lo que su tratamiento se hace cada vez más urgente.

- 14.- En nuestro país son muy pocas las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas que se encuentran operativas, las cuales generan cantidades moderadas de lodos, por lo que no resulta factible desde el punto de vista económico convertirlos a compost.

RECOMENDACIONES PARA AQUELLOS QUE ESTÉN INVOLUCRADOS CON LA GESTIÓN DE LODOS PROCEDENTES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.

- 1.- Modificar los hábitos que se practican actualmente en nuestro país, con respecto al manejo de los efluentes domésticos.
- 2.- Aplicar a los efluentes domésticos que se generan en nuestro país los tratamientos adecuados, de manera que se puedan obtener productos a los que se le pueda dar un valor agregado.
- 3.- Establecer programas de fiscalización de fuentes contaminantes que ayuden al control y reducción de los metales encontrados en las aguas residuales domésticas, favoreciendo la eficiencia del sistema de tratamiento y consecuentemente regulando el contenido de metales pesados en los biosólidos.
- 4.- Usar de manera responsable este producto llamado biosólido, proveniente de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas como fertilizante de suelos agrícolas.
- 5.- El Estado, las empresas y la ciudadanía en general se deben comprometer a proteger el medio ambiente, cada uno de ellos asumiendo el rol que le corresponda.
- 6.- Tomar como base las experiencias que se vienen desarrollando actualmente en nuestro país, para implantar normas y/o mejorar las ya existentes; así como para poner en marcha paulatinamente una política ambiental en lo que respecta al manejo de los efluentes domésticos así como de los lodos que allí se generan.

6.- BIBLIOGRAFÍA

- Licenciado Ricardo A. Magnarelli
14 de Agosto del 2002
“Disposición de Biosólidos”
<http://www.ecofield.com.ar>
- Agroexpo2003, Bogotá – Colombia
31 de Julio al 10 de Agosto del 2003
Comunicado de Prensa: “Valoración de Biosólidos en Agricultura”
- Oficina Española de Patentes
22 de Febrero del 2002
“Procedimiento Para la Valorización de Lodos Procedentes de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales y Cenizas de Combustión Madereras”
http://www.oepm.es/pdf/2/19/21/2192144_a1.pdf
- Filsan Argentina SA, empresa especializada en el tratamiento de agua y efluentes.
“Tratamiento de Efluentes Urbanos e Industriales”
<http://www.filsan.com.ar>
- Servicios del Departamento de Salud Ambiental del Condado de San Luis – California.
“Aguas Residuales Tratadas Lodo/Biosólidos y Aplicación en el Suelo en el Condado de San Luis”
http://www.slopublichealth.org/environmentalhealth/LLGeneral_public_spanish.pdf

- Servicios del Departamento de Salud Ambiental del Condado de San Luis – California.
“Verdades Acerca de los Riesgos y Beneficios del Uso de las Aguas Residuales Tratadas Lodo/Biosólidos en el Suelo”
http://www.slopublichealth.org/environmentalhealth/simpler_risks_spanish.pdf
- Aguamarket
<http://aguamarket.com/diccionario/terminos>
- Ing. Luis Higa – Inga. Fernanda Lopolito
Julio-Agosto 2001
“Normativa Sobre Aplicación de Biosólidos Provenientes de Plantas de Tratamiento de Efluentes Domésticos en Aplicaciones Agrícolas”
http://www.aidisar.org/diase_01.htm
- Micaela Mara Bové
Junio 2003
“Residuos Transformados en Recursos Para un Desarrollo Sustentable”
http://www.rio10.dk/upload/att/residuos_y_recursos.doc
- “Depuración de Aguas”
http://es.encarta.msn.com/encyclopedia_761565852/Depuraci%C3%B3n_de_aguas.html
- “Información de fertilización- Legislación de Lodos”
http://www.fertiberia.com/informacion_fertilizacion/legislacion/lodos/Real_Decreto.html
- Centro Peruano de Estudios Sociales
“Índice Normativo del Régimen de Aguas”

- <http://www.cepes.org.pe/legisla/aguas/indice-normativo.htm>
<http://www.cepes.org.pe/legisla/aguas/reglamentos/ds-261-69-ap.htm>
- Consejo Nacional del Ambiente (CONAM)
 “Ley General de Residuos Sólidos”
http://www.conam.gob.pe/geo/Concurso_curtiembres_AQP/Ley_27314.htm
- Consejo Nacional del Ambiente (CONAM)
 “Temas Emergentes y Estratégicos”
<http://www.conam.gob.pe/geo/v.htm>
- Consejo Nacional del Ambiente (CONAM)
 “Residuos Sólidos”
<http://www.conam.gob.pe/geo/ii31e.htm>
- Perú y Ambiente uno de los desafíos del siglo XXI
 Dr. Antonio Brack Egg - PNUD
 Fuente: Asociación Nacional de Centros, IV Conades – Julio 2000
<http://www.cholonautas.edu.pe/pdf/brack1.pdf>
- Propuesta de recuperación ambiental de la bahía de Chancay
http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/tesis/Ingenie/Cabrera_C_C/Prop_recuperacion.htm.
- Universidad Nacional de Ingeniería
 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (UNITRAR)
<http://fia.uni.edu.pe/unitrar/investigacion.htm>
- Recopilación: Maestro Frenando Bejarano
 Revisión: Dra. Lilia Albert
 “Dioxinas y Furanos”

- http://www.laneta.apc.org/emis/carpeta/dioxinas_y_furanos.htm
- Diccionario Ecológico
<http://www.ecoportel.net/content/view/full/169/offset/5>
 - “Desarenadores”
<http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/desarenadores/desarenadores.html>
 - “Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas”
<http://www.uc.cl/quimica/agua/tratamiento.htm>
 - “Revalorización de los Lodos de EDAR”
<http://personal.telefonica.terra.es/web/diegonate/articulo.html>
 - Universidad de Navarra/Escuela Superior de Ingenieros Industriales
“Eutrofización”
<http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11Caua/150Eutro.htm>
 - John Arthur Harrison, Ph. D.
“El Ciclo del Nitrógeno”
http://www.visionlearning.com/library/module_viewer.php?mind=98&I=&c3=
 - Time Answer Engineering
“La Depuración de las Aguas Residuales en una P.T.A.R.”
<http://www.tanswer.cl/ta/convenci.htm>
 - Bernardo Servín Massieu
Año 2000

“Tratamiento de Aguas Residuales”

http://www.prodigyweb.net.mx/bservin/aguas_residuales.htm

- Elvira del Carmen Cortéz Cadiz

Santiago de Chile, Enero del 2003

Pág. 6-9, 26-33, 50-68

“Fundamentos de ingeniería para el tratamiento de los biosólidos generados por la depuración de aguas servidas de la región metropolitana”

<http://cabierta.uchile.cl/revista/21/articulos/pdf/rev3.pdf>

7.- GLOSARIO DE TÉRMINOS

Agentes patógenos: Son aquellos microorganismos (virus, bacterias, protozoos o helmintos) que presentan características de toxicidad y/o actividad biológica susceptibles de afectar directa o indirectamente a los seres vivos causando enfermedades y contaminación del suelo, el agua o la atmósfera.

Atracción de vectores: Característica de los lodos que los hacen atractivos para roedores, moscas mosquitos u otros organismos capaces de transportar y transmitir agentes infecciosos.

Barros orgánicos: barros con contenido de materia orgánica total igual o mayor al 20 % sobre materia seca.

Biomasa residual: Está referida a toda sustancia orgánica renovable de origen tanto animal como vegetal. Donde la energía de la biomasa proviene de la energía que almacenan los seres vivos.

Ciclo del nitrógeno: Los organismos vivos no pueden utilizar directamente el nitrógeno que se encuentra en la atmósfera en forma gaseosa, debido al fuerte enlace triple entre los átomos N en las moléculas de N₂. Razón por la cual para que las plantas y los animales puedan usar nitrógeno, el gas N₂ primero debe ser convertido a una forma química disponible como el amonio (NH₄⁺), el nitrato (NO₃⁻), o el nitrógeno orgánico (urea – (NH₃)₂CO). Esta conversión se consigue fundamentalmente mediante fijación biológica, y en menor medida por las radiaciones cósmicas y la energía que producen los rayos en la atmósfera. La fijación biológica es un proceso en el cual el nitrógeno se convierte en amonio (N₂

NH₄⁺) mediante la intervención de bacterias simbióticas que viven en las raíces de las plantas, sobre todo en la familia de las legumbres (por ejemplo frijoles y arvejas), que reciben carbohidratos y un ambiente favorable de su planta anfitriona a cambio del nitrógeno que ellas fijan. Luego el amonio producido es

incorporado rápidamente en la proteína y otros compuestos de nitrógeno orgánico, ya sea por la planta anfitriona, por la misma bacteria, o por otro organismo del suelo (NH_4^+ N orgánico).

Desarenadores: Son estructuras hidráulicas que tienen como función remover las partículas de cierto tamaño que la captación de una fuente superficial permite pasar. Se utilizan en tomas para acueductos, en centrales hidroeléctricas, plantas de tratamiento y en sistemas industriales.

Dioxinas: Cuyo nombre genérico es policloro dibenceno-p-dioxinas (PCDD), es así como se conoce a una familia de 75 compuestos estrechamente relacionados. Las dioxinas y los furanos tienen características comunes: son muy tóxicos; son persistentes, es decir no se degradan fácilmente y pueden durar muchos años en el medio ambiente; son bioacumulables en los tejidos grasos de los organismos y se biomagnifican aumentando su concentración a lo largo de las cadenas alimenticias. Las dioxinas nunca han sido fabricadas deliberadamente y no tienen usos específicos, pero surgen como subproductos contaminantes de procesos industriales en los que interviene el cloro, tales como en la producción de plástico PVC, de plaguicidas, de disolventes organoclorados, papel. La principal fuente de emisión atmosférica de dioxinas son los incineradores de residuos peligrosos, residuos domésticos, residuos hospitalarios, debido a la presencia de cloro en dichos residuos.

Estabilización: Proceso que involucra el o los tratamientos destinados a reducir el poder de fermentación y reinfeksiación de un barro.

Eutrofización: Un río, un lago o un embalse sufren eutrofización cuando sus aguas se enriquecen de nutrientes. Podría parecer a primera vista que es bueno que las aguas estén repletas de nutrientes, porque así podrían vivir más fácilmente los seres vivos. Pero la situación no es tan sencilla. El problema está en que si hay exceso de nutrientes crecerán en abundancia las plantas y otros organismos. Y

más tarde, cuando mueren, se pudren y llenan el agua de malos olores y le dan un aspecto nauseabundo, disminuyendo drásticamente su calidad. Además el proceso de putrefacción consume una gran cantidad del oxígeno disuelto y las aguas dejan de ser aptas para la mayor parte de los seres vivos. El resultado final es un ecosistema casi destruido.

Flóculo: Conjunto de partículas pequeñas aglutinadas en partículas más grandes y con mayor capacidad de sedimentación que se obtiene mediante tratamiento químico, físico o biológico.

Furanos: Cuyo nombre genérico es policloro-dibenzofuranos (PCDF), son un grupo de 135 compuestos de estructura y efectos similares a las dioxinas y cuyas fuentes de generación son las mismas.

Lodos activados: En el proceso de lodos activados los microorganismos son completamente mezclados con la materia orgánica del agua residual de manera que ésta le sirve de alimento.

Lodo primario: Es aquel lodo que resulta de un tratamiento primario.

Lodo secundario: Es aquel lodo que resulta de los tratamientos secundarios.

Nitrógeno Orgánico: Nitrógeno químicamente ligado en moléculas orgánicas tales como proteínas, amins y aminoácidos.

Poliectrolitos: Son moléculas, en general polímeros que se separan en el agua, es decir son solubles en agua, las cuales poseen carga iónica a lo largo de toda su cadena. Dependiendo de la carga pueden ser aniónicos o catiónicos, pudiendo actuar como floculantes o defloculantes. Por ejemplo el (poli) ácido acrílico, si se coloca en contacto con el agua, los hidrógenos del ácido se apartan con las moléculas del agua formando iones H_3O^+ , quedando el polímero con un cúmulo

de grupos con carga negativa las cuales se van a repeler entre sí, y por tanto la cadena se estirará; lográndose de esta forma que la solución se vuelva más viscosa.

Relleno Sanitario: Zona utilizada como depósito de basura, con un manejo técnico adecuado. En la operación del relleno sanitario, la basura y otros desechos son extendidos en capas delgadas sobre el suelo o colocados en fosas; para luego compactarse con maquinaria pesada hasta un espesor de 1 a 2 metros y se cubre con una capa de tierra de 20 cm. y así sucesivamente.

Sumideros: Conducto o canal por donde se sumen las aguas.

Sistemas de alcantarillado: Son sistemas de recolección diseñados para evacuar exclusivamente aguas residuales domésticas e industriales de una población.