PROPUESTA Y EVALUACIÓNDE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES APLICABLES EN LA INDUSTRIA FARMACEUTICA.

MARIA SONIA HERNANDEZ DUARTE 1 , AMERICA ROSANA GUTIERREZ ZUÑIGA2 , MARTHA FILOMENA FAJARDO MUÑOZ3 , JORGE HUMBERTO ZUÑIGA CONTRERAS2

1.- Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. 2.- Centro Universitario de la Ciénega, 3.- Centro Universitario de Ciencias Económicas Administrativas.

Universidad de Guadalajara.

El acelerado crecimiento urbano e industrial en los últimos 30 años ha aumentado la complejidad de los residuos descargados al ambiente, provocando serios problemas ecológicos y Toxicológicos en la mayoría de los países en desarrollo.

En términos de contaminación ambiente, se agrava el problema en relación con los ecosistemas acuáticos, lo que merece un énfasis particular, considerando la diversidad de vías a través de las cuales puede ocurrir la contaminación, incluyendo entre las principales, el vertimiento de descargas de aguas residuales a cuerpos naturales y/o artificiales sin un tratamiento previo, o a través del acarreo por corrientes pluviales de sustancias tóxicas tales como Plaguicidas y Fertilizantes usadas en campos agrícolas. (Truba 1970).

Las aguas residuales son productos de las actividades humanas a nivel mundial se ha generado la necesidad de designar lugares para depositarlas. Los cuerpos receptores conocidos, son los arroyos, ríos, lagos y cuerpos artificiales como presas, los cuales pueden resultar contaminados por dichas aguas.

Para resolver el problema de la contaminación por la disposición de aguas residuales, se han creado desde hace varias décadas sistemas para tratar el agua antes de ser vertidas a los cuerpos receptores.

Por parte del Gobierno Mexicano, esta solución se ha tomado con mayor empeño en la última década, en donde se ha exigido a la industria Farmacéutica y posteriormente a los municipios que traten el agua residual.

La mayoría de los sistemas de tratamiento residual que se han instalado en el país utilizan procesos biológicos para llevar a cabo el tratamiento. A pesar de que México cuenta con una considerable cantidad de plantas tratadoras de agua, la tercera parte de éstas se encuentran fuera de servicio, y las que están en operación tratan solo una mínima cantidad de las aguas descargadas generadas a escala nacional. Sin embargo, no se tienen los resultados esperados en cuanto a la calidad del agua que se obtiene después del tratamiento.

Las causas más importantes por las que no se obtienen la calidad del agua deseada son:

* Falta de proyección a futuro
* Malos diseños
* Ubicación geográfica errónea de la planta de tratamiento
* Falta de evaluación de la toxicidad del agua. (P. Odum, 2012)

En caso de la proyección, cuando se planea la construcción de la planta no se considera el volumen del agua residual que aumentará en los siguientes años y como este tipo de obras se construyen por lo general en periodos mínimos de un año, cuando entra en funcionamiento la planta no tiene capacidad para tratar el volumen real.

En lo que respecta a ubicación Geográfica, en algunos casos las plantas de tratamiento no son situadas en el lugar adecuado. Por ejemplo, las plantas de tratamiento anaerobias requieren de altas temperaturas para obtener funcionamiento óptimo y si son, construidas en climas templados no funcionan adecuadamente.

Por último, el que se considera muy importante es la toxicidad del agua, ya que esta sirve para saber el daño que causa a los organismos de los cuerpos receptores y a los sistemas de aguas residuales.

El problema del tratamiento del agua residual cualquiera que sea su origen, tiene consideraciones similares en todo el país; esto es, una mínima respuesta de infraestructura, que da lugar a que existan descargas en forma directa, contaminando las corrientes superficiales y/o cuerpos receptores originando cambios a la salud, afectando la flora y fauna y en especial impidiendo su aprovechamiento aguas abajo para otros usos. Por otra parte, a pesar de contar con legislación desde los años setenta, por diversas razones, no se ha logrado un avance sustancial en esta materia. Por lo tanto, la industria farmacéutica tampoco ha tenido la precaución de contar con este tratamiento ya que sus descargas van directamente a campos o fosas sépticas.

CARACTERISTICAS FISICAS DEL AGUA RESIDUAL.

Las aguas residuales son fundamentalmente las aguas de abastecimiento de una población, después de haber sido impurificadas pro diversos usos. Se originan de la combinación de los desechos arrastrados por el agua procedentes de las casas habitación, edificios comerciales diversos, instituciones educativas e instalaciones industriales, a las que en algunos casos se les añaden las aguas pluviales que de alguna manera se introducen a los ductos.

Las características físicas más importante de un agua de desecho es el contenido total de sólidos, el cual comprende la materia flotante, materia en suspensión, materia coloidal y materia en solución. Otras características físicas importantes son la temperatura, color, olor y turbidez, los rangos de estos parámetros están incluidos en la norma NOM-ECOL-001-1996.

Analíticamente, el contenido de sólidos totales de un agua de desecho se define como la materia que queda como residuo después de la evaporación de 103 a 105 °C. Los sólidos totales se clasifican como sólidos suspendidos y sólidos filtrables.

La fracción de solidos suspendidos incluye los sólidos sedimentables, que sedimentan en el fondo de un cono Imhoff en un periodo de 60 minutos. Los soplidos sedimentables son una medida aproximada de la cantidad de lodos que será removido por sedimentación.

La fracción de solidos filtrables consiste en solidos coloidales. Generalmente, después de la oxidación biológica o coagulación sigue la sedimentación, necesaria para remover estas partículas de la suspensión.

Cada una de las categorías de solidos puede ser posteriormente clasificada en base a su volatilidad a 550 °C. A esta temperatura, la fracción orgánica se oxida y volatiliza, y la fracción inorgánica permanece como ceniza. (Metcalf, 2008).

CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL AGUA RESIDUAL

El contenido orgánico de las aguas residuales domésticas, es del 75% den los sólidos suspendidos y 40% en los sólidos filtrable aproximadamente. Los compuestos orgánicos, generalmente son combinaciones de carbono, hidrogeno y oxígeno, además del nitrógeno que puede estar presente en algunos casos. Otr5os elementos importantes como el azufre, fosforo y fierro también se presentan frecuentemente en las aguas residuales.

Las principales sustancias orgánicas encontradas en los desechos son las proteínas (40 a 60%), carbohidratos (25 a 50%) y grasas y aceites (10%). El principal constituyente de la orina, la urea, es un constituyente orgánico importante. Además de estos compuestos, las aguas residuales contienen pequeñas cantidades de compuestos orgánicos sintéticos, ejemplos típicos son; surfactante, fenoles y pesticidas agrícolas.

Las proteínas son toda sustancia alimenticia animal o vegetal, variando de pequeños porcentajes en las frutas acuosas a altos porcentajes en la carne y ciertos granos de plantas leguminosas, las proteínas son las principales fuentes de nitrógeno, que en grandes cantidades produce olores fétidos debido a su descomposición.

Los carbohidratos se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, así, como en todas las aguas de desecho. Los carbohidratos concluyen a los azucares, almidones, celulosa y fibra de madera, son compuestos formados de carbono, hidrogeno y oxígeno. La celulosa es el más importante carbohidrato encontrado en su desecho, debido a su resistencia a la descomposición.

Las grasas y aceites son uno de los mayores componentes de las sustancias alimenticias. El término grasa comúnmente usado, incluye a las grasas, aceites, parafinas y otras constituyentes afines encontrados en los desechos.

Las grasas y aceites con ésteres de alcoholes o glicoles (glicerina) con ácidos grasos. Los glicéridos de ácidos grasos que son líquidos a temperaturas ordinarias se llaman aceites y los que son sólidos se llaman grasas, estos similares químicamente y están formados de carbono, hidrogeno y oxígeno en varias proporciones.

Las grasas y aceites de los desechos domésticos, provienen de la manteca, mantequilla, margarina y aceites vegetales. La grasa es uno de los compuestos orgánicos más estables y difíciles de degradar. El Queroseno y aceites lubricantes son derivados del petróleo y el alquitrán de hulla, los cuales se encuentran en las aguas negras en cantidad considerable provenientes de talleres, estacionamientos y calles. Estas sustancias también son solubles en Hexano, y por lo tanto, se incluyen en la determinación de grasas y aceites que se encuentran en las aguas de desecho, flotan, formando una capa que tiende a cubrir la superficie con la acción biológica, causando una capa que tiende a cubrir la superficie con la acción biológica, causando además problemas de mantenimiento.

Los surfactante o agentes de superficie activa son moléculas orgánicas muy grandes, ligeramente solubles en agua y causan la formación de espuma en la superficie del agua donde el desecho es vertido. Su capacidad para formar espuma hace que interfiera en el proceso de lodos activados de una planta de tratamiento de aguas negras, ya que impide que el oxígeno sea transferido a que tienden a acumularse en la interfase; aceite-agua. Además, se forman gruesas capas de espuma muy estable, que son arrastradas por el viento y constituyen un peligro para la salud pública.

Los fenoles y otras clases de compuestos orgánicos son también constituyentes importantes del agua. Los fenoles causan problemas de olor en el agua potable, particularmente cuando el agua esta clorada. Estos compuestos provienen principalmente de operaciones industriales.

Los pesticidas y productos químicos utilizados en la agricultura, son trazas de compuestos orgánicos y otros productos químicos, son tóxicos para muchas formas de vida, y por lo tanto, son contaminantes importantes. Estos compuestos no son constituyentes comunes de las aguas residuales y provienen principalmente de las infiltraciones de la agricultura. Bajas concentraciones de estos elementos contaminan la fauna, originando su muerte, causando además un deterioro de las fuentes de suministro de agua.

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

Actualmente, se depone de diferentes métodos para determinar el contenido orgánico de las aguas residuales. Los métodos de laboratorio empleados son; Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).- Es un parámetro de contaminación orgánica más usado y aplicado a aguas superficiales y de desecho es la DBO a los cinco días (DBO5 ). Esta determinación comprende la medición de oxígeno disuelto empleado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica.

La medición de la DBO es importante en tratamientos de aguas de desechos y control de la calidad del agua, por determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se necesita para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente. Los datos de DBO se usan para medir las facilidades de tratamiento de un desecho y la eficiencia de algún proceso de tratamiento.

Demanda Química de Oxígeno (DBO).- Esta prueba se emplea para medir el contenido de materia orgánica de las aguas naturales y de desechos. El oxígeno equivalente de la materia orgánica que puede ser oxidado se mide con un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido.

Es también usada para medir la materia orgánica de los desechos industriales y municipales que contienen sustancias tóxicas para la vida biológica. La DQO es en general es más alta, que la DBO debido a que más compuestos son oxidados químicamente. Es posible correlacionar DQO con DBO para muchos tip0os de desechos. Esto es muy útil debido a que el DQO se determina en 3 horas, comparando con los cinco días empleados en la determinación de la DBO. Una vez que la correlación se establece, las mediciones de DQO se emplean con buena aproximación en el control y operación de una planta de tratamiento.

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE MATERIA INORGÁNICA.

Los componentes inorgánicos de las aguas naturales y de desecho son importantes para establecer y controlar la calidad del agua. La concentración de sustancias inorgánicas, tales como cromo, magnesio, calcio, manganeso, etc.. En el agua se incremente con la formación geológica con la cual el agua se pone en contacto y por las aguas de desecho tratadas o no tratadas que se descargan en ella. Las aguas naturales disuelven las rocas y minerales con las que ésta en contacto; las aguas de desecho, con excepción de algunos desechos industriales, rara vez son tratadas para removerles los constituyentes inorgánicos que se les agregan en su uso diario. Las concentraciones de los constituyentes inorgánicos también se incrementan por los procesos naturales de evaporación. Estos incrementos deterioran la calidad de las aguas naturales, por lo tanto, es conveniente examinar el oxígeno de los siguientes parámetros:

* pH
* Cloruros
* Alcalinidad
* Nitrógeno
* Fósforo
* Azufre
* Compuestos Tóxicos
* Metales Pesados.

GASES COMUNES ENCONTRADOS EN LAS AGUAS RESIDUALES.

Los gases encontrados comúnmente en las aguas de desecho no tratadas son el nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, amoniaco y metano. Los tres primeros son gases comunes de la atmósfera y se encuentran en todas las aguas expuestas al aire, los últimos tres se originan de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas de desecho.

Los siguientes gases son de interés en las aguas de desecho no tratadas:

1. Oxígeno disuelto.- es necesario para la respiración de los microorganismos aeróbios, así, como para otras formas de vida aeróbia. La presencia de oxígeno disuelto en las aguas de desecho previene la formación de olores desagradables.
2. Sulfuro de hidrógeno.- se origina de la descomposición de la materia orgánica que contiene azufre o de la reducción de sulfitos y sulfatos minerales en ausencia de oxígeno. El ennegrecimiento de las aguas de desecho domésticas y lodos, es debido a la presencia del sulfuro de hidrógeno que se combina con el fierro presente formando sulfuro ferroso. Otros compuestos volátiles como el indol y mercaptanos se forman también la descomposición anaerobia, originando olores más desagradables que el sulfuro de hidrógeno.
3. Metano.- el principal subproducto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica en las aguas de desecho es el gas metano, el cual es un hidrocarburo, combustible inodoro e incoloro. Normalmente no se encuentran grandes cantidades de este gas en las aguas de desecho, debido a que pequeñas cantidades de oxígeno son tóxicas para los organismos responsables de su producción. Ocasionalmente, se encuentran en los fondos de ríos y cuerpos de agua, debido al estado anaerobio de estos.

CARACTERISTICAS BIOLOGICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

La naturaleza de las aguas residuales presenta un conjunto de sustancias orgánicas e inorgánicas que proporcionan un marco de carácter físico-químico cuya influencia determina la supervivencia de microorganismos típicos, la abundancia de algunos de ellos y la escasez de otros. Así como la composición de las aguas residuales es oscilante, de la misma manera oscila también el tipo y número de organismo que contienen: Hongos, protozoos, algas, bacterias y virus.

Las aguas residuales pueden contener millones de bacterias por mililitro; bacilos anaerobios, esporulados, coliformes, estreptococos, bacterias del grupo Proteus, y otros tipos que proceden del tracto intestinal humano. Además, las aguas residuales domésticas son un buen receptáculo de protozoos, bacterias y virus patógenos, tales como agentes etiológicos de la disentería, el cólera y la fiebre tifoidea. Las Heces de huéspedes infectados pueden fácilmente depositar en las aguas residuales los virus de; Poliomielitis, Hepatitis infecciosa y de Coxsachie (enfermedad de manos-pies-boca).

Los rasgos biológicos de las aguas negras lo representan, indudablemente, las poblaciones bacterianas con una gama de organismo anaeróbicos estrictos y facultativos, así como la presencia de organismo patógenos de todo tipo, que van desde virus hasta vermes.

RECOMENDACIONES PARA LA SELECCIÓN DE SISTEMA DE TRATAMIENTO.

La tecnología apropiada para el tratamiento de las aguas residuales es aquella que permite al menor costo, cumplir con los resultados propuestos, es decir su aplicación debe ser compatible con el desarrollo socioeconómico de la población.

Las lagunas de estabilización presentan muchas ventajas cuando hay disponibilidad de terreno y su costo no sea excesivo:

* Bajo costo de construcción y los menores costos de operación y mantenimiento que cualquier otro sistema de tratamiento en el ámbito secundario
* Requiere de poca energía eléctrica
* No requiere de equipo de alto costo
* Es posible obtener eficiencias de remoción de patógenos
* Tiene capacidad amortiguadora para las variaciones de las cargas hidráulicas y orgánicas.
* Presenta pocos problemas en el manejo y disposición de lodos
* No requiere de personal altamente capacitado para su operación y mantenimiento.

Las desventajas de este proceso son:

Requiere de grandes extensiones de tierra

Puede emitir olores desagradables (cuando se sobrecargan)

Pueden contaminar el manto friático (cuando están mal impermeabilizadas)

Pueden entregar un efluente con una gran cantidad de solidos suspendidos

Requiere de una ubicación lejana a la población.

Algunas de estas desventajas pueden ser minimizadas con una buena impermeabilización del terreno, así como una operación y mantenimiento efectivos.

Los sistemas a base de lodos activados tienen la ventaja de:

* Atenúa por dilución las sobrecargas
* Se logra homogeneidad en toda la superficie del tanque
* No requiere de grandes espacios
* Menores tiempos de retención

Algunas de las desventajas del proceso a base de lodos activados son;

* Mayor consumo de energía
* Mayor producción de lodos
* Requiere personal capacitado para su operación.

ELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTOS.

La selección del método o sistema de tratamiento más adecuado para un determinado tipo de desecho líquido, deberá hacerse tomando por los mínimos costos, y especialmente considerando las necesidades y disponibilidades siguientes;

* Tipo de agua residual por tratar, municipal, industrial o una mezcla de ambas
* Disponibilidad de mano de obra, material de construcción, equipó y terreno
* Condiciones tipográficas y climatológicas del lugar
* Desarrollo municipal, industrial o agrícola
* Recursos técnicos y económicos disponibles.
* Uso del agua tratada
* Tratamiento conjunto o separado

TRATAMIENTO PRELIMINAR.

Se le llama tratamiento preliminar al sistema que se utiliza en el tratamiento de aguas residuales para dejar en condiciones aceptables o manejables, al agua que se le dará posteriormente un tratamiento, ya sea primario, secundario o terciario y es de fundamental importancia, ya que como sabemos, las aguas residuales pueden ser puramente domésticas (aguas negras), pero también contienen todo tipo de desperdicios, corrientes pluviales que arrastran arenas, infiltraciones de aguas subterráneas y desechos industriales (aguas residuales en general), por lo cual el objeto fundamental del pretratamiento consiste en separar de las aguas residuales todos aquellos constituyentes que podrían llegar a obstruir o dañar los equipos de bombeo, o interferir con los procesos subsecuentes del tratamiento, por lo cual los dispositivos empleados para el tratamiento preliminar se diseñan principalmente para;

* Separar o disminuir el tamaño de los sólidos orgánicos grandes que flotan o están suspendidos. Estos solidos consisten generalmente en trozos de madera, telas, papel, basura, junto con algo de materia fecal.
* Separar los sólidos inorgánicos pesados, como la arena, la grava e incluso objetos metálicos.
* Separar cantidades excesivas de aceites y grasas

CONTAMINACION DE LAS AGUAS CON PRODUCTOS FARMACEUTICOS.

Los productos farmacéuticos, en su mayoría, son compuestos que se caracterizan por su compleja estructura química. De forma general (existen algunas excepciones) son moléculas hidrofílicas y pueden estar cargadas, incluso pueden poseer más de un grupo funcional ionizable. Estos productos se consumen en grandes cantidades pero de forma diferente en cada país en cuestión. Se estima que el consumo global en el mundo entero es de 100 000 ton/año (esta cifra corresponde al consumo promedio por cápita mundial de 15 g/per cápita. Año) (Ternes y Joss, 2006; Kummerer, 2004). La mayor parte de las investigaciones relacionadas con los productos farmacéuticos son aquellas que evidencian su presencia en el medio ambiente pero un número relativamente escaso de trabajos se centran en el tratamiento de estos productos.

Afluentes y efluentes de 12 plantas de tratamiento de la Industria farmacéutica.

Paracetamol, ibuprofeno, naproxeno, ketoprofeno, diclofenaco, indometacina, fenoprofeno, 17β- estradiol, estriol, estrona, trimetoprima, tetraciclina, clortetraciclina, cimetidina, ciprofloxacina, claritromicina, clindamicina, eritromicina, gemfibrozil, sulfadimetoxina, sulfametazina, sulfametiazol, sulfametoxazol, sulfatiazol, sulfisoxazol, paroxetina, salbutamol, metoprolol, propranolol, atenolol, Metronidazol, ranitidina, carbamazepina, codeína, cotinina, cafeína, fluoxetina, ketorolaco, diltiazem, primidona, fenitoína, ácidos mefenámico, salicílico, clofibrico

BIODEGRADABILIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA.

Las plantas de tratamiento de residuales, los hospitales y la Industria Farmacéutica son las fuentes fundamentales de contaminación por medicamentos del medio ambiente. Las aguas residuales provenientes de la fabricación de fármacos poseen características especiales debido a la naturaleza del proceso productivo. Normalmente las plantas productoras de medicamentos son polivalentes y sus aguas residuales son intermitentes, fluctuantes y poseen una composición variable dependiendo del régimen de producción y los productos fabricados. Por su parte, las aguas residuales hospitalarias son variables también y su composición depende de factores tales como, la cantidad de pacientes y las enfermedades tratadas. No existen en la literatura suficientes datos en relación a la caracterización de aguas residuales procedentes de hospitales y plantas productoras de medicamentos. La tabla 1.2 muestra algunos ejemplos. Como puede apreciarse, incluso si los datos de DQO y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) pueden variar de un reporte a otro, estos residuales poseen una relación DBO5/ DQO, inferior a 0.5-0.66 que corresponde a una fácil biodegradación. Como puede apreciarse la relación DBO5/ DQO podría llegar a ser tan baja como 0.06 en cuyo caso los tratamientos biológicos, usualmente utilizados no son suficientes para disminuir su poder contaminante por debajo de los límites aceptables. Estos elementos sin indicativos de la importancia del desarrollo y empleo de nuevos métodos de tratamiento.

**BIBLIOGRAFIA.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Título** | **Autor** | **Editorial, fecha** | **Año de la edición más reciente** |
| 1. Introducción al estudio del derecho ambiental. | Gutiérrez-Nájera Raquel | Porrua, México 2002. | 2002 |
| 2. Química ambiental. | ColinBaird. | Reverté, España 2001. | 2010 |
| 3. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. | DOF | DOF, México 2006 | 2008 |
| 4. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. | DOF | DOF, México 2013. | 2013 |
| 5. Guía para el manejo de los residuos biológico infecciosos. | Santos-Burgoa C. | Secretaría de Salud, México 2003. | 2003 |
| 6. Guía de cumplimiento de la norma oficial mexicana NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002. Protección Ambiental - Salud Ambiental - Residuos Peligrosos Biológico-Infecciosos - Clasificación y Especificaciones de Manejo. | Castañeda-Rosas L.E. | SEMARNAT, México 2003. | 2003 |
| 7. Coagulantes y Floculantes del manual de tratamiento de aguas residuales | .Calgon | México, 2005. | 2005 |