

Diseño e instalación de un sistema de purificación del agua de proceso de una suspensión concentrada en la planta Bayer Cropscience de Guatemala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química

Diseño e instalación de un sistema de purificación del
agua de proceso de una suspensión concentrada en la
planta Bayer Cropscience de Guatemala

Trabajo de graduación presentado por Axel Rolando
Fuentes Alvarado para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Química

BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Guatemala
2005

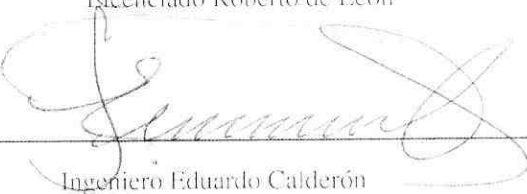
Vo.Bo. :

(f) 
Ingeniero Otto Raúl de León

Tribunal

(f) 
Ingeniero Otto Raúl de León

(f) 
Licenciado Roberto de León

(f) 
Ingeniero Eduardo Calderón

Fecha de aprobación 9 de diciembre del 2005

*A Dios, por darme la oportunidad de vivir
A mis padres, por si mi ejemplo en la vida
A mis hermanos, por el apoyo de todos los días
A Ale, por ser el amor e inspiración de mi vida
A mi par de angelitos en el cielo, por haberlos conocido
A mi abuelito, por darme la responsabilidad
A mis padrinos, por sus consejos y apoyo
A Lulo y Topo, por ser mis amigos de la vida
A los "Chatos" por esas largas horas de estudio y su amistad*

PREFACIO

Este es un trabajo realizado en la planta Bayer Cropscience de Guatemala y surgió como la búsqueda de una solución a la problemática de la contaminación ambiental. Durante meses se realizaron pruebas para determinar los diseños adecuados y la obtención de resultados fue una mezcla de trabajo práctico y teoría. Las limitantes encontradas fueron económicas ya que había que invertir en desechos. Otra limitante fue el tiempo de trabajo invertido en el proyecto, pero ante todo convencer a la gerencia que hoy en día el aspecto ambiental es fundamental. Se agradece a la empresa Bayer por colaborar con dicha investigación, en especial a David Schagen, jefe de laboratorio de control de calidad quien trabajó conjuntamente con mi persona para darle solución y desarrollo al proyecto.

RESUMEN

El propósito de este estudio es la selección y diseño de un sistema de purificación del agua de proceso, en la planta Bayer Cropscience de Amatlán. En la planta se ha estado envasando el producto comercial “Monarca” que es una suspensión concentrada, el agua de lavado de este producto ha causado grandes problemas ambientales, ya que es muy difícil su purificación. Por medios teóricos y experimentales, se encontró un diseño para la limpieza del agua. Éste utiliza una combinación de medios químicos y bacteriológicos para la degradación de la molécula “Monarca”. Para la selección del diseño se evaluaron tres variables: el tiempo de tratamiento, el impacto ambiental y el aspecto económico, siendo este último el más determinante. Como resultados se obtuvo un tiempo de tratamiento de 20-25 días a un costo de Q19,038.95. se concluye que la eficiencia de este método, no puede ser medida directamente por los parámetros de medición establecidos. El parámetro utilizado para la medición, es la cantidad de demanda de oxígeno en el agua (DQO), por los resultados obtenidos este asegura que el agua puede ser reutilizada después del tratamiento. El límite establecido como aceptable es de 300 ppm de DQO, después del tratamiento diseñado se obtuvo resultados en el rango de 8.8 ppm de DQO. Se recomienda el chequeo periódico del agua, por medio de un equipo de (HPLC) (columna líquida de alta precisión), para encontrar trazas del producto y asegurar la limpieza del agua.

ABSTRACT

This is a document in which there are two studies about two different ways to clean up the process water of the Bayer Cropscience's plant. They have been working with a very dangerous substance called "Monarca" and there was no way to clean it. Therefore, an investigation has been done in order to solve this problem. Due to experimentation with bacteria, a method was found out. The cost of the process is around 19,038.95 quetzales, and it last 20 to 25 days. The efficiency was measures with and indirect method, the method of DQO (oxygen demand quality) was used, the average value was 7.83 ppm. As a matter of fact, this value was also used to prove that there is o damage on the environment. On the other hand, the other method was too expensive to use it, it costs around 268,743.60 quetzales.

ÍNDICE GENERAL

	Página
PREFACIO	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE ILUSTRACIONES	xi
LISTA DE FOTOS.....	xii
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES	2
A. Planta Bayer Amatitlán	2
B. Aguas residuales.....	2
C. Características de las aguas residuales en la industria de agroquímicos	11
D. Plantas de tratamiento	12
E. Sistema de tratamiento de planta Bayer Amatitlán.....	18
F. Osmosis inversa.....	19
III. JUSTIFICACIÓN.....	21
IV. OBJETIVOS.....	22
A. General	22
B. Específicos	22
V. PROBLEMA A RESOLVER.....	23
VI. METODOLOGÍA.....	24

VII.	RESULTADOS	25
VIII.	DISCUSIÓN.....	30
IX.	CONCLUSIONES.....	33
X.	RECOMENDACIONES	34
X.	BIBLIOGRAFÍA	35
XI.	APÉNDICE	36
	A. Diseños.....	36

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1.	Caracterización de las aguas residuales en planta Bayer Amatlán	12
2.	Variables del diseño II.....	26
3.	Resultado del diseño II después del tratamiento.....	26
4.	Comparación de costo	26
5.	Prueba de inmunidad	39
6.	Productos agregados por tratamiento.....	39
7.	Comparación de métodos	40
8.	Costos de diseño I.....	41
9.	Costos totales de diseño II	41
10.	Costos por tratamiento.....	42

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración	Página
1. Diseño I. Diagrama de flujo del diseño químico	27
2. Diseño II. Diagrama de flujo del diseño fisico-microbiológico	28
3. Comparación del rago de tamaño de partícula de Monarca vrs Carbón activado.....	36

LISTA DE FOTOS

Foto	Página
1. Muestra de Monarca, tomada el tercer día.....	37
2. Agua de Monarca (capa de grasa)	40

I. INTRODUCCIÓN

La purificación de aguas industriales ha adquirido una gran importancia en los últimos años, debido a la conciencia ambiental que se ha creado. La comprensión de la magnitud de este problema, ha llevado a trabajar conjuntamente a los gobiernos con el sector industrial de sus países. Lo que ha dado como resultado la creación de sistemas de tratamiento de efluentes por parte de la industria. Estos tratamientos por simples que sean, vienen a incrementar el costo de operación de las plantas industriales.

El sistema de tratamiento de efluentes con que cuenta la planta formuladora de agroquímicos Bayer Cropscience, consiste básicamente en dos plantas de tratamiento independientes. La primera es una planta de tratamiento por proceso biológico de carácter aerobio, en el cual convergen los efluentes provenientes de baños. La segunda es una planta móvil para el tratamiento de los desechos de laboratorio de control de calidad.

Bayer Cropscience, innovando en la tecnología agroquímica, ha envasado y formulará a partir de este año, el producto "Monarca" que es una suspensión concentrada. Dicho producto es altamente tóxico y muy difícil de extraer del agua de proceso.

El tema de investigación que se planteó es la obtención de un sistema de purificación de agua de proceso para el producto "Monarca". Las variables que se analizaron son: el costo del sistema, la efectividad del diseño, el tiempo de tratamiento y contaminación ambiental

Se diseñó un sistema bacteriológico con bajos costos de operación. Los resultados obtenidos por este diseño están por debajo del límite DQO permitido, asegurando la purificación del agua tratada y cumpliendo con el objetivo de este estudio.

II. ANTECEDENTES

INDUSTRIA DE AGROQUÍMICOS

A. Planta Bayer Amatitlán

1. **Ubicación geográfica.** Las instalaciones de la Planta Bayer Amatitlán están localizadas en el municipio de Amatitlán del departamento de Guatemala, en la zona industrial, la cual se ubica a 5 km. del centro urbano y a 29.5 km. al sur de la ciudad capital.

La carretera CA-9 que comunica al país con la región sur, sirve de límite occidental al terreno de la planta, la parte norte y oriente limitan con una empresa que se dedica al cultivo y exportación de semillas y la parte sur con un terreno baldío.

2. **Reseña histórica.** Los orígenes de la planta se remontan al inicio de la construcción de las primeras áreas productivas en diciembre de 1962, para lo cual se compró un terreno de 1.4 hectáreas hoy día, la extensión de terreno es de 4.6 hectáreas. A principios del año 1963 empezaron a ingresar los primeros trabajadores, con lo cual se dio inicio formalmente a las operaciones de la nueva empresa del Grupo Bayer fundada en Guatemala. En mayo del mismo año se construyó un laboratorio de control de calidad, instalaciones sanitarias y unas pocas oficinas administrativas. Terminadas todas las instalaciones piloto, el 7 de septiembre de 1963 se dio luz verde para dejar correr la primera formulación, que fue exactamente 2 m³ del producto Metacide 480 EC.

La operación de la planta se basa en la formulación y el envasado de productos para la protección de cultivos, principalmente insecticidas, fungicidas, herbicidas y auxiliares para la aplicación de los mismos. Los procesos utilizados en la producción cumplen con la normativa de seguridad y calidad exigidos por Bayer AG.

En la Planta Bayer Amatitlán se pueden producir diversos tipos de formulaciones, ya que se cuenta con el equipo adecuado para cumplir con los más altos estándares de calidad y cada módulo es independiente y específico. Entre los diferentes tipos de formulación podemos mencionar los productos DP, WP, GR, SL, EC, etc.

B. Aguas residuales

1. **Definición.** Es el líquido resultante de cualquier uso, proceso y operaciones de tipo municipal, agroindustrial, doméstico, hospitalario e industrial. (Quintero, 1981)

2. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales.

a. Parámetros físicos. La característica física más importante del agua residual, es su contenido total de sólidos, el cual está compuesto por materia flotante y materia en suspensión, en dispersión coloidal y en disolución. Otras características físicas son la temperatura, color y olor. (Ingeniería Ambiental, 1997)

1) Sólidos totales. Los sólidos totales del agua residual, proceden del agua de Abastecimiento, del uso industrial y doméstico y del agua de infiltración de pozos locales y aguas subterráneas. Los sólidos domésticos, incluyen los procedentes de inodoros, fregaderos, baños, lavadores, trituradores de basura y ablandadores de agua. (Ingeniería Ambiental, 1997)

Análiticamente, el contenido total de sólidos de un agua residual se define como "toda la materia que queda como residuo de evaporación a 103- 105°C". Los sólidos totales, o residuo de evaporación, pueden clasificarse como sólidos suspendidos o sólidos filtrables, a base de hacer pasar un volumen conocido de líquido por un filtro. Por lo general, el filtro se elige de modo que el diámetro mínimo de los sólidos suspendidos sea aproximadamente de una micra; la fracción de sólidos suspendidos incluye los sólidos sedimentables que se depositarán en el fondo de un recipiente en forma de cono durante un período de 60 minutos. (Ingeniería Ambiental, 1997).

La fracción de sólidos filtrables, se compone de sólidos coloidales y disueltos. La fracción Coloidal, consiste en partículas con un diámetro aproximado que oscila entre 10 micras y una micra.

Los sólidos disueltos se componen de moléculas orgánicas e inorgánicas y de iones que, encuentran presentes en disolución verdadera en el agua.

La fracción coloidal no puede eliminarse por sedimentación. (Gibbs.1985)

A su vez, cada una de estas clases de sólidos, puede clasificarse de nuevo de acuerdo a su volatilidad a 600 °C. La fracción orgánica se oxidará y será expulsada como gas a dicha temperatura, permaneciendo la fracción inorgánica como ceniza. Por tanto, los términos "sólidos suspendidos volátiles" y "sólidos suspendidos fijos" se refieren, respectivamente, al contenido orgánico e inorgánico de los sólidos suspendidos. (Ingeniería Ambiental, 1997)

2) Temperatura. La temperatura del agua residual es generalmente más alta que la del suministro, debido a la adición de agua caliente procedente de las casas y de actividades industriales. Como el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas de las aguas residuales observadas son más altas que las temperaturas locales del aire durante la mayor parte del año y sólo son más bajas durante los meses más cálidos del verano. Según la localización geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía de 10 a 21°C, siendo, pues, 15 °C un valor representativo. (Fiemin Diot, 1992)

La temperatura del agua es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas, velocidades de reacción y en la aplicabilidad del agua a usos múltiples. Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en el agua caliente que en la fría. El aumento de la velocidad de las reacciones químicas que supone un aumento de la temperatura, junto con la disminución del oxígeno presente en las aguas superficiales, puede frecuentemente causar graves agotamientos, en los meses de verano, de las concentraciones de oxígeno disuelto. Finalmente, las temperaturas elevadas pueden dar lugar a un crecimiento indeseable de plantas acuáticas y hongos. (Kerimis.1991)

3) Condición

a) Color. Históricamente, la palabra "condición" se utilizó junto con "composición" y "concentración" para describir el agua residual. La condición se refiere a la edad del agua residual. Se determina cualitativamente por su color y olor. El agua residual reciente suele ser gris, sin embargo, como quiera que los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce a cero y el color cambia a negro. En esta condición, se dice que el agua residual es séptica.

Algunas aguas residuales de tipo industrial, añaden color al agua residual doméstica. (Ingeniería Ambiental, 1997)

b) Olor. Los olores se deben a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente, tiene un olor peculiar, algo desagradable, pero más tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el del sulfuro de hidrógeno, producido por los microorganismos anaerobios, que reducen los sulfatos a sulfitos. Las aguas industriales contienen, a veces, compuestos olorosos, capaces de producir olores en el proceso de tratamiento. (Ingeniería Ambiental, 1997)

b. Parámetros químicos de las aguas residuales

1) Materia orgánica. Es un agua residual de intensidad media, un 75 % de los sólidos suspendidos y un 40 % de los sólidos filtrables son de naturaleza orgánica. Proceden de los reinos animal y vegetal y de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos están formados generalmente por una combinación de carbono, hidrógeno y oxígeno, junto con nitrógeno en algunos casos. Otros elementos importantes tales como azufre, fósforo y hierro pueden hallarse presentes. Los principales grupos de sustancias orgánicas hallados en el agua residual son las proteínas (40 a 60 %), carbohidratos (25 a 50 %) y grasas y aceites (10%). La urea principal constituyente de la orina, es otro importante compuesto del agua residual. (Castillo, 1996)

2) Proteínas. Las proteínas son los principales componentes del organismo animal. En las plantas se encuentran presentes en menor grado. Todos los alimentos crudos de origen vegetal y animal contienen proteínas. Las proteínas son de estructura química compleja e inestable, y están sometidas a muchas formas de descomposición. Algunas son solubles en agua y otras no lo son. La química de la formación de proteínas, supone la combinación o formación de cadenas de una gran número de aminoácidos, los pesos moleculares de las proteínas son muy altos, desde 20 000 a 20 millones de partículas. (Ingeniería Ambiental, 1997)

Todas las proteínas contienen carbono, que es común a todas las sustancias orgánicas, así como oxígeno e hidrógeno. Además contienen, como característica que las distingue, una proporción bastante elevada y constante de nitrógeno de alrededor del 16%. La urea y las proteínas son la principal fuente de nitrógeno en el agua residual. (Ingeniería Ambiental, 1997)

3) Carbohidratos. Los carbohidratos incluyen azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera. Todos ellos se encuentran en las aguas residual es. Contienen carbono, hidrógeno y oxígeno. Los carbohidratos comunes contienen seis, o un múltiplo de seis, átomos de carbono en una molécula, e hidrógeno y oxígeno en las proporciones en que estos elementos se encuentran en el agua. Algunos carbohidratos como los azúcares, son solubles en agua, no así los almidones. (Kerimis, 1991)

Los azúcares tienen predisposición a la descomposición, con las enzimas de ciertas bacterias y los fermentos dan lugar a una fermentación seguida de producción de alcohol y dióxido de carbono. Los almidones, por su lado, son más estables, pero se transforman en azúcares por la actividad microbiana, así como por los ácidos minerales diluidos. (Ingeniería Ambiental, 1997)

4) Grasas animales y aceites. Las grasas animales y los aceites son, Cuantitativamente el tercer componente de los alimentos. El término grasa, normalmente utilizado, incluye las grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes que se hallan en el agua residual. El contenido de grasa se determina mediante extracción de la muestra residual con hexano. Otro grupo de sustancias solubles en hexano son los aceites minerales, tales como queroseno y aceites lubricantes. (Moores, 1972)

Las grasas animales y aceites son compuestos de alcohol o glicerol y ácidos grasos. Los ésteres de ácidos grasos que son líquidos a las temperaturas ordinarias se llaman aceites y los que son sólidos se llaman grasas. Son químicamente muy semejantes, están compuestos por carbono, hidrógeno y oxígeno en diversas proporciones. (Ingeniería Ambiental, 1997)

Las grasas son de los compuestos orgánicos más estables y no se descomponen fácilmente por las bacterias. Sin embargo, los ácidos minerales las atacan, dando como resultado la formación de glicerina y ácido graso. En presencia de álcalis, tales como el hidróxido sódico, la glicerina se libera y se forman sales alcalinas de los ácidos grasos. Estas sales alcalinas son conocidas como jabones y como en el caso de las grasas, son estables.

Como se ha indicado en el análisis precedente, el contenido de grasa del agua residual puede motivar

muchos problemas, tanto en las alcantarillas como en las plantas de tratamiento. Si la grasa no se elimina antes del vertido del agua residual, puede interferir con la vida biológica en las aguas y crear películas y materias en flotación imperceptibles. Los límites de 15 a 20 mg/L de contenido de grasa y la ausencia de capas de aceite iridiscentes son dos ejemplos de normas establecidas por los organismos competentes en lo que se refiere al vertido de aguas residuales en aguas naturales. (Ingeniería Ambiental, 1997)

5) Agentes tensoactivos. Los agentes tensoactivos son grandes moléculas orgánicas, ligeramente solubles en agua, que causan espumas en las plantas de tratamiento así como en las aguas a las que se vierten efluentes residuales. Los agentes tensoactivos tienden a acumularse en la interfase aire-agua. Durante la aireación del agua residual, estos componentes se acumulan sobre la superficie de las burbujas de aire, causando por ello una espuma muy estable. (Moore, 1972)

6) Materia inorgánica. Varios componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales tienen importancia para el establecimiento y control de la calidad del agua. Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan por la formación geológica con la que el agua entra en contacto y también por las aguas residuales, tratadas o sin tratar, que se descargan a ella. Las aguas naturales disuelven parte de las rocas y minerales con las que están en contacto. Las aguas residuales, a excepción de algunos residuos industriales, son pocas veces tratadas para la eliminación de los constituyentes inorgánicos que añaden en el ciclo de su utilización. (Ingeniería Ambiental, 1997)

7) Ph. La concentración del ión hidrógeno es un importante parámetro de calidad, tanto de las aguas naturales como de las residuales. El intervalo de concentración idóneo para la existencia de la mayoría de la vida biológica es muy estrecho y crítico. El agua residual con una concentración adversa de ión hidrógeno es difícil de tratar por medios biológicos y si la concentración no se altera, antes de la evacuación, el efluente puede alterar la concentración de las aguas naturales. (Ingeniería Ambiental, 1997)

8) Cloruros. Otro parámetro de calidad importante es la concentración de cloruros. Los cloruros que se encuentran en el agua natural, proceden de la disolución de suelos y rocas que los contienen y que están en contacto con el agua y, en las regiones costeras, de la intrusión del agua salada. Otra fuente de cloruros es la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales en las aguas superficiales. (Ingeniería Ambiental, 1997)

Las heces humanas, por ejemplo, contienen unos 6 g de cloruros por persona y día. En lugares donde la dureza del agua sea elevada, los ablandadores del agua aportarán igualmente grandes cantidades de cloruros. (Ing. Ambiental, 1997)

9) Alcalinidad. La alcalinidad en el agua residual se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos tales como calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco. De éstos, los más frecuentes son los bicarbonatos magnésico y cálcico. El agua residual es generalmente alcalina, recibiendo su alcalinidad del agua de suministro, del agua subterránea y de las materias añadidas durante el uso doméstico. La alcalinidad se determina por dilución con un ácido normalizado. Los resultados se expresan en carbonato cálcico CO_3Ca . La concentración de la alcalinidad en el agua residual, es importante cuando deba efectuarse un tratamiento químico y cuando haya que eliminar el amoníaco mediante arrastre por aire. (Ingeniería Ambiental, 1997)

10) Nitrógeno. Los elementos nitrógeno y fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas y, como tales, son conocidos como nutrientes o bioestimulantes. Vestigios de otros elementos, tales como el hierro, son necesarios para el crecimiento biológico, pero el nitrógeno y el fósforo son, en la mayoría de los casos, los principales elementos nutritivos. (Ingeniería Ambiental, 1997)

Puesto que el nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de las proteínas, se necesitará conocer datos sobre el mismo, para valorar la tratabilidad de las aguas residuales domésticas e industriales, mediante procesos biológicos. Cuando el contenido de nitrógeno sea insuficiente, se necesitará la adición del mismo para hacer tratable el agua residual.

El nitrógeno presente en el agua residual, se encuentra principalmente en la forma de urea y materia proteica. La descomposición por las bacterias, cambia fácilmente estas formas en amoníaco. La edad del agua residual viene indicada por la cantidad relativa de amoníaco presente. En un ambiente aerobio, las bacterias pueden oxidar el nitrógeno, del amoníaco a nitritos y nitratos.

El predominio del nitrógeno del nitrato indica que el agua residual se ha estabilizado, con respecto a la demanda de oxígeno. Sin embargo, los nitratos pueden ser usados por las algas y otras plantas acuáticas, para formar proteínas vegetales que, a su vez, pueden ser utilizadas por animales, para formar proteínas animales. La muerte y descomposición de las proteínas animales y vegetales, por las bacterias, produce de nuevo amoníaco. Por tanto, si el nitrógeno en forma de nitratos puede reutilizarse por las algas y otras plantas para formar proteínas, puede ser necesario eliminar o reducir el nitrógeno que haya presente, para evitar estos crecimientos. (Moore, 1972)

11) Fósforo. El fósforo es también esencial para el crecimiento de las algas y otros organismos biológicos. Debido a los crecimientos explosivos nocivos que tienen lugar en las aguas superficiales, existe mucho interés en la actualidad, en controlar la cantidad de los compuestos de fósforo que entran en las aguas superficiales, a través de los vertidos de aguas residuales industriales y domésticas y de las escorrentías naturales. (Ingeniería Ambiental, 1997)

Las formas más frecuentes en que se encuentra el fósforo en soluciones acuosas son orto fosfato, poli fosfato y fosfato orgánico. Los orto fosfatos, se hallan disponibles para el metabolismo biológico, sin

precisar posterior ruptura. Los poli fosfatos incluyen las moléculas con dos o más átomos de fósforo, átomos de oxígeno y en algunos casos, átomos de hidrógeno combinados en una molécula compleja. (Ingeniería Ambiental, 1997)

12) Azufre. El ión sulfato, se presenta en forma natural, en la mayoría de los suministros de agua y también en el agua residual. El azufre se requiere en la síntesis de las proteínas y se libera en su degradación. Los sulfatos se reducen químicamente a sulfuros y a sulfuro de hidrógeno, por las bacterias en condiciones anaerobias. (Moore, 1972)

13) Compuestos tóxicos. Por su toxicidad, ciertos cationes son de gran importancia en el tratamiento y vertido de las aguas residuales. El cobre, plomo, plata, cromo, arsénico y boro, son tóxicos en distintos grados para los microorganismos y, por tanto, deben tenerse en consideración a proyectar una planta de tratamiento biológico. (Kerimis, 1991)

14) Metales pesados. Vestigios de muchos metales, tales como el níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, cinc, cobre, hierro y mercurio, son importantes constituyentes de muchas aguas. Algunos de estos metales son necesarios para el desarrollo de la vida biológica y su ausencia en cantidades suficientes podría, por ejemplo, limitar el crecimiento de las algas. La presencia de los anteriores en cantidades excesivas, interferirá con muchos usos provechosos del agua, dada su toxicidad; por tanto, conviene casi siempre medir y controlar las concentraciones de dichos metales. (Ingeniería Ambiental, 1997)

15) Gases. Los gases más frecuentemente encontrados en el agua residual sin tratar son: nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2) anhídrido carbónico (CO_2), sulfuro de Hidrógeno (SH_2), amoníaco (NH_3), y metano (CH_4). Los tres primeros, son gases comunes de la atmósfera y se encuentran en todas las aguas que estén expuestas al aire. Los tres últimos, proceden de la descomposición de materia orgánica presente en el agua residual. El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida aerobia. No obstante, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en el agua. La presencia de oxígeno disuelto en el agua residual, es deseable, porque evita la formación de olores desagradables. El sulfuro de hidrógeno, no se forma, en presencia de un abundante suministro de oxígeno. Se trata de un gas incoloro, inflamable, que tiene el olor característico de huevos podridos. El ennegrecimiento del agua residual y del fango, se debe generalmente a la formación de sulfuro de hidrógeno, que se combina con el hierro presente, para formar sulfuro ferroso. (Ingeniería Ambiental, 1997)

c. Características biológicas. Entre los aspectos biológicos principales, están los grupos principales de microorganismos, que se encuentran en las aguas superficiales y residuales, así como

aquellos, que intervienen en el tratamiento biológico, el de los organismos utilizados como indicadores de polución y su importancia, y finalmente, de los métodos utilizados para valorar la toxicidad de las aguas residuales tratadas. (Fiemin Didot, 1992)

1) Microorganismos. Los grupos principales de organismos, que se encuentran en las aguas superficiales y residuales, se clasifican en: protistas, plantas y animales. La categoría de los protistas incluye las bacterias, hongos, protozoos y algas. (Fiemin Didot, 1992)

Como plantas se clasifican las de semilla, helechos, musgos y hepáticas. Como animales se clasifican los vertebrados e invertebrados. Los virus, que también se encuentran en el agua residual son clasifica s según el sujeto que infectan. (Fiemin Didot, 1992)

2) Protistas. Los protistas son, en su clase, el grupo más importante de los organismos especialmente las bacterias, algas y protozoos. Las bacterias son protistas unicelulares, consumen alimentos solubles y, por lo general, se encuentran donde haya alimentos y humedad. Su modo habitual de reproducción es por escisión binaria, aunque algunas especies se reproducen sexualmente o por germinación. Si bien existen miles de diferentes especies de bacterias, su forma general encaja dentro de alguna de estas tres categorías: esféricas, cilíndricas y helicoidales. (Fiemin Didot, 1992)

Diversos ensayos realizados con diferentes bacterias, indican que están compuestas por un 80 % de agua y el 20 % restante de materia seca, de la cual 90 % es orgánica y el 10 % inorgánica. La temperatura y el pH juegan un papel vital en la vida y muerte de las bacterias, así como en otras plantas y animales microscópicos. Se ha comprobado, que la velocidad de reacción para los microorganismos, aumenta con la temperatura, doblándose cada 10 °C de aumento, hasta alcanzar la temperatura límite. Según el grado de temperatura en que se desarrollan mejor, las bacterias se clasifican en: criófilas o psicrófilas, mesófilas y termófilas. (Fiemin Didot, 1992).

El pH de una solución, es asimismo, un factor clave en el crecimiento de los organismos. La mayoría de éstos, no pueden tolerar niveles de pH por encima de 9.5 o por debajo de 4, por lo general el pH óptimo para el crecimiento, se encuentra entre 6.5 Y 7.5. Las bacterias pueden clasificarse, con base en su metabolismo: en heterótrofas y autótrofas. En el tratamiento biológico de las aguas residuales, las bacterias heterótrofas constituyen, en general, el grupo más importante, por su necesidad de compuestos orgánicos para el carbono celular. Las bacterias autótrofas y heterótrofas pueden dividirse, a su vez, en: aerobias y anaerobias, o facultativas, según su necesidad de oxígeno. (Fiemin Didot, 1992)

Los hongos, en ingeniería sanitaria, se consideran protistas heterótrofos, no fotosintéticos y multicelulares. Los hongos se clasifican, generalmente, por su modo de reproducción, que puede ser sexual o asexualmente, por escisión, germinación, o formación de esporas. Los mohos o verdaderos hongos producen unidades microscópicas, que colectivamente forman una masa filamentosa llamada el micelio. Los fermentos son hongos que no pueden formar un micelio y, por tanto, son unicelulares. (Fiemin Didot, 1992)

La mayoría de los hongos, son aerobios estrictos. Pueden crecer con muy poca humedad y toleran un medio ambiente con pH relativamente bajo. El pH óptimo para la mayoría de las especies es de 5.6, el intervalo es de 2 a 9. Los hongos tienen una demanda baja de nitrógeno, sólo necesitan aproximadamente la mitad de lo que requieren las bacterias. La capacidad de los hongos para sobrevivir a pH bajos y poco nitrógeno, les hace muy importantes en el tratamiento de algunas aguas residuales industriales. (Fiemin Didot, 1992)

Las algas son protistas unicelulares o multicelulares, autótrofos y fotosintéticas, no son deseables en los abastecimientos de agua, porque producen malos olores y sabores desagradables. En las plantas de filtración, la presencia de algas reduce el tiempo de filtrado entre lavados. El color verde de la mayoría de las especies y su capacidad para formar capas, disminuye el valor estético del agua.

En los estanques de oxidación las algas son un valioso elemento, porque producen oxígeno a través del mecanismo de la fotosíntesis, sin embargo por la noche, cuando no hay luz para producir la fotosíntesis, consumen el oxígeno en la respiración. Durante el día, las algas consumen anhídrido carbónico, lo que supone un aumento del pH, mientras que por la noche lo producen, lo que significa un descenso de aquél. Las algas, al igual que sucede con otros microorganismos, requieren compuestos inorgánicos para reproducirse, aparte del anhídrido carbónico, los principales nutrientes necesarios son el nitrógeno y el fósforo, también son muy importantes vestigios de otros elementos como hierro, cobre y molibdeno. (Fiemin Didot, 1992)

Los protozoos son protistas móviles microscópicos y, por lo general, unicelulares. La mayoría de los protozoos son heterótrofos aerobios, aunque algunos pocos son anaerobios. Los protozoos son generalmente de un orden de magnitud mayor que las bacterias y suelen consumir bacterias como fuente de energía. En efecto los protozoos, actúan como purificadores de los efluentes de procesos biológicos de tratamientos de aguas residuales, al consumir bacterias y partículas orgánicas. (Fiemin Didot, 1992)

El rotífero es un animal aerobio, heterótrofo y multicelular, su nombre procede del hecho que tienen dos juegos de pestañas giratorias sobre la cabeza que utilizan para su movimiento y captura de alimentos. Los rotíferos son muy eficaces al consumir bacterias dispersas y floculadas, así como pequeñas partículas de materia orgánica. Su presencia en un efluente indica un proceso de purificación biológica aerobio muy eficiente. (Fiemin Didot, 1992)

Los crustáceos, al igual que el rotífero, es un animal aerobio, heterótrofo y multicelular, pero al contrario, el crustáceo tiene un cuerpo duro o coraza, son una importante fuente de alimentación de los peces y como tales suelen encontrarse en la mayoría de las aguas naturales.

Excepto en los estanques de oxidación con poca carga, los crustáceos no existen en los sistemas de tratamiento biológico en cantidades apreciables. Su presencia indica, que el efluente está bajo de materia orgánica y que es rico en oxígeno disuelto. (Fiemin Didot, 1992)

C. Características de las aguas residuales en la industria de agroquímicos

Los compuestos orgánicos que se encuentran a nivel de trazas tales como pesticidas, herbicidas y otros productos químicos usados en la agricultura, son tóxicos para gran número de formas de vida y, por tanto, pueden llegar a ser peligrosos contaminantes de las aguas superficiales. Estos productos químicos no son constituyentes comunes del agua residual sino que suelen incorporarse fundamentalmente como consecuencia de la escorrentía de parques, campos agrícolas y tierras abandonadas. Las concentraciones indebidas de estos productos químicos pueden dar como resultado la muerte de peces, contaminación de la carne del pescado que disminuye así su valor como fuente de alimentación y el empeoramiento del suministro de agua. (Ing. Ambiental, 1992)

La concentración de estos contaminantes, a nivel de vestigios, se mide por el método de extracción al carbón-cloroformo, que consiste en separar los contaminantes del agua, pasar una muestra de ésta por una columna de carbón activo y extrayendo a continuación el contaminante del carbón por medio de cloroformo, seguidamente el cloroformo se evapora, y los contaminantes pueden pesarse. Los pesticidas en concentraciones de una parte por billón (ppb) e incluso menos, pueden determinarse con precisión por diversos métodos, incluyendo la cromatografía de gases y captura electrónica. (Ing. Ambiental, 1992)

1. Caracterización de las aguas residuales en Planta Bayer Amatlán

Resultados obtenidos de análisis efectuados a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Tabla No.1 Caracterización de las aguas residuales

Parámetros	Unidades	Entrada	Salida
PH		7.54	7.5
Oxígeno disuelto	mg/L	0.3	4.3
Temperatura	°C	28.9	28.7
Sólidos, sedimentables	ml/L	<0.1	<0.1
Sólidos en suspensión	mg/L	40	<6.0
Sólidos totales	mg/L	3032	672
DQO	mg/L	200	28
Color	unidades de color	<0.5	<0.5
Organoclorados	ppb		NO
Piretroides			NO
Metilparatión	ppb		1.49

D. Plantas de tratamiento

El deterioro ambiental causado por el crecimiento industrial y urbano ha creado necesidad de tratar el agua, para disminuir la concentración de contaminantes, dentro de los cuales cabe mencionar:

1. **Materia orgánica biodegradable.** La demanda de oxígeno para la descomposición de estos materiales, se satisface con el oxígeno disuelto en el agua en que se descargaron.

2. **Otros nutrientes (nitratos, amoníaco, fosfatos).** Por ser el N y el P elementos esenciales para la vida, un exceso de ellos causa un proceso de nitrificación, que aumenta la producción de formas de vida improductivas y llevan el sistema a una rápida extinción.

3. **Elementos tóxicos.** Pequeñas concentraciones de plomo, cadmio y mercurio que son letales.

4. **Derivados del petróleo solventes y productos tóxicos.** Los contaminantes de aguas pueden clasificarse de acuerdo a su estado (sólido, líquido, la forma en que se encuentran (disueltos, suspendidos, agregados o formando coloides), y por su naturaleza (orgánica, inorgánica, organismos vivos). (Ingeniería Ambiental, 1997)

La determinación de la cantidad de materia orgánica se hace de varias maneras: (A continuación se muestran parámetros que miden la cantidad de materia orgánica:

1. **DBO.** La demanda biológica de oxígeno es la cantidad de oxígeno requerida durante la oxidación de materia orgánica e inorgánica, por un cultivo aeróbico bacteriano. Este parámetro mide los efectos combinados de las sustancias putrescibles en solución. El DBO efectúa la oxidación del material carbónico orgánico y la del material nitrado. Debido a que una estabilización completa requiere de mucho tiempo, se ha definido el parámetro DBO, el cual mide la cantidad de oxígeno disuelto en una muestra de agua, antes y después de cinco días de incubación a 20 °C. (Quintero, 1981)

2. **DBQ.** La demanda química de oxígeno, es la cantidad de materia orgánica e inorgánica susceptible de ser oxidada. Es un método sujeto a menos variaciones y más rápido, la determinación se hace con dicromato de potasio. (Quintero, 1981)

3. **SST(Sólidos suspendidos totales).** El crecimiento microbiano se da cuando existe materia orgánica para alimentarse. Para su medición se emplea el método gravimétrico debido a que los lodos activados forman partículas floculantes que no permiten distinguir y obtener una cuenta de

organismos vivos. Existen dos parámetros que lo determinan: SSV, sólidos suspendidos volátiles, y SST, sólidos suspendidos totales. (Quintero, 1981)

4. **SSLM.** Los sólidos suspendidos en el licor mixto, SSLM, son las partículas formadas por bacterias suspendidas en dicho licor: La carga de iodos, kg de DBO o DQO/ kg. SSLM, es una medida de la rapidez con la que los Iodos tratarán la carga orgánica. (Quintero, 1981)

5. **Carga orgánica volumétrica.** La carga orgánica volumétrica kg. de DBO o DQO/volumen del tanque, es el volumen del tanque de aeración necesario para una carga orgánica. (Quintero, 1981).

Existen varios niveles de tratamiento de aguas, son estos:

1. **Pre-tratamiento.** Tiene por objeto eliminar los sólidos de tamaño considerable como piedras, papeles, plásticos, madera, lodos, arena etc. Se efectúa por medio de un desarenador, que es una canal de velocidad de desplazamiento constante y que separa los sólidos grandes que no han quedado detenidos por medio de las rejillas se sedimentan. (Quintero, 1981)

2. **Tratamiento primario.** Consiste en la separación de los sólidos suspendidos más pesados que el agua, existen tres maneras de hacerlo:

a. **Sedimentación.** Las impurezas son separadas aprovechando únicamente la fuerza de gravedad y la coalescencia natural de las partículas.

b. **Coagulación.** Se agregan sustancias que induzcan y aceleren la coalescencia y sedimentación de las partículas sólidas.

c. **Floculación.** Cuando se agita el agua mecánicamente, se forman agregados o se aumenta la coalescencia de partículas, que se sedimentan fácilmente. (Quintero, 1981)

d. **Precipitación química.** Se agregan sustancias como CaCO_3 , Na_2SO_4 para eliminar las impurezas disueltas en el agua (dureza del agua, hierro, manganeso, fosfato, etc.).

e. **Tratamiento secundario.** El objetivo principal es eliminar la materia orgánica disuelta en el agua, pueden utilizarse métodos químicos y biológicos.

f. Métodos químicos. Se llevan a cabo por la adición de polielectrolitos, $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ que forman un lodo que se sedimenta.

g. Métodos biológicos. Consisten en la oxidación de la materia orgánica por medio de microorganismos en condiciones aeróbicas y en algunos casos anaeróbicas, dentro de éstos pueden citarse.

h. Lagunas de oxidación. En éstas, los microorganismos se encuentran formando partículas floculantes en un tanque agitado, a éste se le añade continuamente agua y se le suministra el oxígeno mecánicamente. La agitación mecánica tiene el triple propósito de mantener suspendidas las partículas, mejorar la transferencia de oxígeno y crear condiciones homogéneas en el reactor. Los organismos absorben y oxidan la materia orgánica, de manera que la fase líquida contiene poca materia orgánica en solución y una alta concentración de sólidos suspendidos. Una parte de ellos se sedimenta en un tanque de clarificación y otra se recircula, para mantener la misma concentración de células en el tanque de aireación. (Castillo, 1996)

i. Bioconversión. Oxidación bioquímica, generalmente hablando es una operación unitaria que convierte los compuestos orgánicos solubles en agua en compuestos orgánicos insolubles en agua, los cuales finalmente son removidos por medio de una variedad de formas. (Quintero, 1981)

Aunque la bioconversión de un líquido a un sólido no es 100% eficiente, es capaz de convertir de 30 % -70 % de la material carbonoso convertible, teniendo una demanda bioquímica de oxígeno se puede asegurar que existe material para solubilizar. La bioconversión puede ser representada por la siguiente reacción:

Material convertible DBO (soluble) + $\text{O}_2 \rightarrow$ material carbónico insoluble + CO_2 + H_2O + microorganismos + energía.

La reacción de conversión requiere:

- Que el sustrato sea degradable y no tóxico
- Una manera de tener el oxígeno disuelto presente.
- Que los microorganismos presentes sean capaces de metabolizar los desechos.
- Que trazas de nutrientes biológicos estén presentes.

Aunque la mayoría de los sistemas de bioconversión operan a régimen continuo, un entendimiento de la reacción involucrada puede ser obtenido de un batch de proceso. Considerando un sistema donde una muestra de microorganismos aclimatados, es introducido dentro de un sustrato acuoso conteniendo un exceso de oxígeno, a medida que el tiempo transcurre, el número de microorganismos aumenta (de acuerdo a la anterior ecuación) decreciendo la concentración del sustrato. La ecuación de la reacción anterior puede ser representada gráficamente, ploteando la cantidad de microorganismos versus el tiempo, y la

concentración del sustrato versus el tiempo. Esta curva puede ser dividida en tres fases, crecimiento logarítmico, la declinación del crecimiento, y la fase endógena de crecimiento. (Quintero, 1981)

La primera fase existe cuando los microorganismos están siendo generados logarítmicamente. A medida que los microorganismos convierten el sustrato en más microorganismos, la reacción inicia convirtiéndose el sustrato como limitante. A medida que el sustrato está más limitado, la reacción entra en la fase de declinación. Durante la fase de declinación el índice de conversión del sustrato soluble a microorganismos decrece lentamente. Siguiendo esta fase, el sustrato llega a ser aún más escaso, y los microorganismos comienzan a morir debido a la falta de sustrato. Las células constituyentes de los microorganismos muertos, se convierten en sustrato de la población que ha quedado es llamada fase endógena. (Quintero, 1981)

Cuando las reacciones básicas y la morfología de las bacterias son entendidas, las limitaciones de la bioconversión continua son evidentes. La mayoría de los sistemas continuos están compuestos de un tanque de aireación, los desechos solubles son metabolizados y producen más microorganismos mediante la reproducción. El agua y microorganismos suspendidos, llamados sólidos suspendidos en licor mixto, salen del tanque de aireación, al tanque de sedimentación, aquí los microorganismos floculantes se van al fondo, dejando el agua clarificada relativamente libre de desechos. Los microorganismos sedimentados, son bombeados de regreso al tanque de aireación, para servir como un recurso de microorganismos para la reacción con los desechos entrantes. (Quintero, 1981)

Los microorganismos son reciclados, debido a la relación de los desechos entrantes frente a la masa biológica, que es crítica para una bioconversión eficiente. Con la conversión continua de desechos solubles a microorganismos insolubles, un exceso de biosólidos acumulados son removidos para mantener el sistema en balance. (Quintero, 1981)

El objetivo principal de la bioconversión debe ser reconocido como: La conversión de material DBO soluble en material carbonoso insoluble microorganismos suspendidos. Una vez que los microorganismos han convertido todo lo que les es posible de material DBO a material sólido insoluble, una eficiente unidad física o fisicoquímica debe ser seleccionada para remover los bioorganismos suspendidos. (Quintero, 1981)

En el campo de la biotecnología se utilizan bacterias, levaduras y células animales y vegetales cultivadas in vitro, cuyo metabolismo y capacidad de biosíntesis son orientados hacia la transformación de sustancias específicas y dirigidos a la protección del medio ambiente, al control de la polución, al tratamiento de aguas negras y a la metabolización de aguas servidas de procedencia civil, industrial o zootécnica. Los científicos pueden ahora seleccionar diferentes tipos de microorganismos, que tienen la capacidad de adaptación y supervivencia en ambientes altamente contaminados. (Quintero, 1981)

j. Tratamiento terciario. Implica la purificación del agua para volverla a utilizar. El tratamiento se selecciona de acuerdo con el uso que se destine el agua. Dentro de éstos tenemos:

1) Absorción. Este término se refiere a la habilidad de ciertos materiales de fijar en su superficie, moléculas orgánicas extraídas de un líquido o un gas, en los cuales están inmersos. Es un fenómeno de transferencia de masa de la fase líquida o gaseosa hacia la fase sólida, a la cual los compuestos orgánicos presentan afinidad. Como en todos los problemas relacionados con transferencia de masa, la capacidad de adsorción de un adsorbente con respecto a una sustancia dada depende de:

a) El área superficial del material. Los adsorbentes industriales tienen un área que va desde $300 \text{ m}^2/\text{g}$ hasta $1500 \text{ m}^2/\text{g}$.

b) La concentración de la materia orgánica en solución. Bajo condiciones limitadas un equilibrio es establecido entre la concentración de la solución y la masa de contaminantes adsorbidas por unidad de área (o por unidad de masa de el adsorbente).

c) Características hidrodinámicas del intercambio, de la velocidad de las dos fases y en particular del periodo de contacto entre la fase sólida y líquida. Afinidad de la superficie por la sustancia en cuestión, y la naturaleza de las sustancias que serán adsorbidas. Esta afinidad depende del valor del pH; en la mayoría de los casos un pH ácido facilita la adsorción en carbón activado.

d) Los mecanismos de enlace son altamente complejos y no han sido totalmente analizados. Las fuerzas involucradas son el resultado de puramente fenómenos físicos asociados con mecanismos de enlaces químicos. Esto explica la ausencia de cualquier principio satisfactorio capaz de predecir de antemano la afinidad relativa de un adsorbente y el adsorbato. (Fiemin Didot, 1992)

2) Carbón activado: En la actualidad, el carbón activo es el elemento más prometedor dentro del tratamiento por adsorción de las aguas residuales. El carbón activo se prepara, en primer lugar, haciendo carbón de un material como madera o carbón, se lleva al rojo vivo en una retorta para expulsar los hidrocarburos, pero con una aportación insuficiente de aire par mantener la combustión. La partícula de carbón se activa seguidamente exponiéndola a un gas oxidante a elevada temperatura. Este gas desarrolla una estructura porosa en el carbón natural y crea así una gran superficie interna. Las propiedades de superficie resultantes son función del material inicial usado y del procedimiento exacto de preparación, de modo que son muchas las variaciones posibles. (Fiemin Didot, 1992) Tras la activación, el carbón puede separarse o prepararse en diferentes tamaños. Los dos más corrientes son el granular y en polvo. El diámetro del carbón en polvo es generalmente inferior que la malla 200, mientras que el carbón granular tiene un diámetro superior a 0.1 mm. El tamaño de poro desarrollado durante la activación, tiene importancia en la adsorción de la fase vapor, pero no generalmente en la fase líquida. (Fiemin Didot, 1992)

El tratamiento del agua residual con carbón activo, suele considerarse como un proceso de acabado del agua ya tratada por procesos de tratamiento biológico normales. En este caso, el carbón se utiliza para eliminar parte de la materia orgánica residual disuelta. Según los medios con que el carbón se ponga en contacto con el agua, la materia particulada presente también puede ser eliminada. (Fiemin Didot, 1992)

3) Caolín. El caolín es una roca masiva compuesta de un porcentaje variable de material arcilloso blanco o débilmente coloreado, que está constituida por silicatos aluminicos hidratados.

Una vez obtenido el material, se separa la arena sílice del caolín por procedimientos físicos, mediante una serie de lavados y decantaciones.

El proceso llega a su fin cuando el caolín es retirado de la bolsa y, mediante un proceso de prensado y secado, está listo para su uso final. Los usos del caolín son muy diversos: desde la fabricación de loza y porcelana sanitaria, industria del papel, del caucho, hasta la industria agrícola, usado como cargas en la fabricación de abonos e insecticidas. (Fiemin Didot, 1992)

Aplicación en vertederos de residuos. Al ser el caolín una arcilla, y como tal impermeable, el proceso investigado consiste en cubrir el suelo destinado a vertedero con una capa de caolín. Después de un proceso de compactado, las basuras se descargan encima como se hace habitualmente. Esta capa de caolín impide que el agua filtre en la tierra arrastrando residuos tóxicos y evitando así la contaminación del subsuelo. (Ingeniería Ambiental, 1997)

Otro proceso, de uso diferente y complementario del anterior, dirigido hacia los vertederos ya existentes, consiste en cubrir las basuras con caolín, haciendo de paraguas para impermeabilizar los residuos y, replantar el vertedero, colocando encima tierra vegetal. La capa de caolín actuaría como aislante impidiendo la penetración del agua en la basura y actuando como aislante de la tierra. Estos mismos procedimientos pueden ser utilizados para enterrar los desechos de carbón y otros residuos, impidiendo así la contaminación de tierras y aguas subterráneas.

4) Tierras de diatomeas

a) Celite: La filtración desempeña un papel importante en la clarificación y purificación de incontables productos comerciales, pero la remoción de ciertos tipos de materia suspendida en los líquidos, no puede obtenerse económicamente con sólo usar un medio filtrante corriente. (Ingeniería Ambiental, 1997) Lo que ocurre en muchos casos, es que los sólidos más finos pasan con el líquido a través de la tela para obstruir las aberturas y disminuir o paralizar enteramente el flujo por el filtro. El uso de celite ha desempeñado un gran papel en la solución de este difícil y costoso problema de producción, especialmente en las filtraciones de la clarificación, donde las partículas que hay que remover son lodosas, sin rigidez o de tamaño coloidal. Igualmente importante es que los muchos grados de diferentes de celite hacen posible lograr el grado exacto de la clarificación deseada. (Ingeniería Ambiental, 1997)

En el uso de los polvos celite hay dos etapas: En la primera, el líquido claro conteniendo una suspensión de celite se pasa por el filtro hasta formarse sobre la tela del filtro una pre-capa o membrana compuesta enteramente de polvo celite de 0.15875 cm (1/16") a 0.3175 cm (1/8") de pulgada de espesor. (Ingeniería Ambiental, 1997)

Aunque una malla de alambre de filtro de 60x60 sólo presenta 3600 pequeñas aberturas por pulgada cuadrada de superficie, una pre-capa de celite presenta unos 2 500 000 canales, parecidos a cabellos, por pulgada cuadrada que permiten el paso expedito de los líquidos y retienen hasta las partículas más finas. Esta membrana de filtro tan activa se obturaría y sería impasable en poco tiempo, al filtrar un líquido turbio si no fuese por la segunda e importante etapa en el uso de las ayudas de filtro celite. (Fiemin Didot, 1992)

Una vez que se ha formado la pre-capa, se añaden pequeñas cantidades adicionales de celite al cuerpo del líquido que se vaya a filtrar. A medida que el líquido turbio conteniendo celite llega a la superficie filtradora, se entranpan las impurezas y el polvo de celite. Durante toda la operación se continúa acrecentando partículas adicionales de celite en la malla o tela del filtro. En esta forma, se presenta constantemente una superficie filtrante fresca al líquido que se filtra.

Esto da como resultado mayores ciclos o periodos de filtración, durante los cuales el filtro continúa funcionando sin paros. (Ingeniería Ambiental, 1997)

E. Sistema de tratamiento de planta Bayer Amatitlán

El sistema de tratamiento de efluentes con que cuenta la planta formuladora de agroquímicos de Bayer, que está localizada en el municipio de Amatitlán, consiste básicamente en dos plantas de tratamiento independientes, que en determinado momento, pueden complementarse. La primera es una planta de tratamiento por proceso biológico, de carácter aerobio, a la cual convergen los efluentes provenientes de baños y lavandería, los que son recolectados en un tanque de captación y enviados por medio de una bomba sumergible, que tiene la particularidad de tener un triturador, que reduce el tamaño de la materia que entra a la fosa de captación, a un embudo dosificador, el cual recicla el 90 % al tanque de captación, creando un efecto de cascada que ayuda a la oxigenación, el resto es dosificado al tanque biológico, en donde se realiza el proceso de digestión por microorganismos (bacterias), que se homogenizan por la inyección de aire, degradando la materia orgánica a expensas del oxígeno disuelto, teniendo que para su buen funcionamiento el nivel de oxígeno disuelto en los lodos, debe ser al menos de 2 mg/L.

Luego pasa por rebalse a otro tanque, donde la geometría del mismo y la acción gravimétrica, los lodos se sedimentan y regresan al tanque de aireación, teniendo como resultado del rebalse, agua clara que se recolecta en un tanque de captación final, en donde se tiene una bomba que se activa por el nivel del agua, y que conduce el agua a todas las áreas verdes de la planta.

La planta de tratamiento por proceso biológico fue diseñada por el Dr. Kerimis, quien labora para Bayer. Actualmente, sólo existen dos plantas de tratamiento de éste tipo, una en Bayer Helas Grecia y otra en Guatemala, siendo construida en 1991. Anteriormente a su construcción, las aguas residuales eran

recolectadas en un tanque de sedimentación, al que se agregaban enzimas para degradar la materia orgánica. Por rebalse el agua pasaba a un sistema de tres pozos de sedimentación, siendo finalmente bombeada a un pozo relleno de piedra pómez.

La segunda es una planta móvil, en la que se realizan tratamientos físicos y químicos a los efluentes del laboratorio de control de calidad y agua residual de lavado de la máquina formuladora de granulados.

F. Osmosis inversa

La ósmosis inversa es la separación de componentes orgánicos e inorgánicos del agua por el uso de presión ejercida en una membrana semipermeable. La presión fuerza al agua pura a través de la membrana semipermeable, dejando atrás los sólidos disueltos. El resultado es un flujo de agua pura esencialmente libre de minerales, coloides, partículas de materia y bacterias. (Farias, 1999)

Una manera simple de entender la ósmosis inversa, es la de pensar en ésta como un filtro químico, que tiene la habilidad de filtrar los mismos materiales que un filtro mecánico estándar, así como también las sales y orgánicos que están químicamente disueltos en el agua. (Farias, 1999)

El nombre: "Ósmosis Inversa" se deriva de la ósmosis, el fenómeno natural que provee agua a las hojas de los árboles y agua a las células animales para mantener la vida. (Farias, 1999)

La ósmosis normal toma lugar cuando el agua pasa de una solución menos concentrada a una solución más concentrada a través de una membrana semipermeable. Una cierta cantidad de energía potencial existe entre las dos soluciones en cada lado de la membrana semipermeable. El agua fluirá debido a e hasta que detendrá el flujo la diferencia de energía de la solución de menos concentración a la de más concentración hasta que el sistema alcanza el equilibrio. La adición de presión a una solución más concentrada, detendrá el flujo de agua a través de la membrana desde la solución de menos concentración cuando la presión ejercida iguale la presión osmótica aparente entre las dos soluciones. La presión osmótica aparente es la medida de la diferencia de la energía potencial entre las dos soluciones. (Farias, 1999)

Mientras se aplique más presión a la solución más concentrada, el agua empezará a fluir de la solución de más concentración a la de menos concentración. La cantidad de agua filtrada depende de la presión aplicada a la solución de más concentración, la presión osmótica aparente, y el área de la membrana que está siendo presurizada. La presión requerida para sobreponerse a la presión osmótica es dependiente de la concentración molar de la solución y de la temperatura absoluta. Cien mg/l de sólidos disueltos son equivalentes a aproximadamente 1 psi de presión osmótica. (Farias, 1999)

1. La membrana de osmosis inversa. Es una película de acetato de celulosa parecido al celofán usado para envolver la comida. Estas membranas pueden ser formuladas para dar grados variantes de rechazo de sal.

Algunas membranas tienen una habilidad de rechazo de 50 a 98% la palabra rechazo se usa para describir la repulsión de los iones por la membrana. (Farias, 1999)

El material filtrante de la membrana tiene una multitud de poros submicroscópicos en su superficie.

El tamaño del poro de la membrana (0.0005 a 0.002 micrones) es mucho más pequeño que las aberturas de un filtro mecánico normal (1 a 25 micrones) por lo que un diferencial de presión mucho más grande se requiere para hacer que el agua pase por la membrana que el diferencial requerido por un material filtrante normal. Como la membrana "tipo celofán" tiene poca fuerza mecánica y debido al diferencial de presión requerido para el flujo del agua, la membrana debe tener un soporte fuerte para prevenir descompostura. (Farias, 1999)

III. JUSTIFICACIÓN

Guatemala, por ser un país altamente agrícola, utiliza en gran cantidad los productos agroquímicos. La ciencia ha avanzado en la síntesis de dichos productos para la industria agroquímica. La nueva tendencia es la generación de SC's (suspensiones concentradas), la finalidad de estos es poder utilizar menos cantidad de producto en volumen en el campo y tener los mismos resultados, lo que representa un ahorro para el consumidor como también, para el productor desde el punto económico, manteniendo la efectividad del producto. Algunas veces estos SC's son más eficientes que un producto normal, el cual es diluido.

El problema consiste en que en Guatemala, tradicionalmente, sólo se han envasado las suspensiones concentradas. Su formulación por no tener la tecnología necesaria, ha estado destinada a países más industrializados, por tanto un problema comenzó a surgir con el agua de lavado del proceso, un ejemplo de esto es el producto comercial "MONARCA" de la casa Bayer.

Durante un par de años, Bayer Cropscience de Guatemala ha envasado Monarca, guardando el agua de lavado, ya que no había forma de deshacerse de ésta por sus altos contenidos tóxicos y su difícil tratamiento. Con un volumen de 500 m³ de agua es de suma importancia encontrar una solución. El problema radica en que, a partir de este año, en Guatemala se empezará la formulación de Monarca y el volumen de agua de lavado será muy grande para ser guardado.

De manera que diseñando un sistema de purificación para el agua de proceso, se estaría evitando un problema de espacio físico, ambiental y costos de tratamiento para la empresa.

IV. OBJETIVOS

A. General

Diseñar dos diferentes sistemas para limpiar y purificar el agua del proceso de una Suspensión Concentrada (MONARCA), y compararlos desde un enfoque económico y de rendimiento para así seleccionar el más viable para los intereses de la empresa.

B. Específicos

1. Determinación de los dos sistemas a usar.
2. Establecer y monitorear la degradación de la suspensión centrada por un sistema bacteriológico.
3. Establecer y monitorear la degradación de una suspensión concentrada por un sistema químico.
4. Se establecerán los costos de los dos proyectos y con base en estos se decidirá cuál conviene.
5. Crear la metodología del proceso seleccionado para su implementación.
6. Instalación del proceso.
7. Evaluar el impacto ambiental ocasionado por el diseño.

V. PROBLEMAS A RESOLVER

Bayer Cropscience ha envasado durante años la suspensión concentrada "Monarca", el agua de lavado de este producto es tóxica y difícil de tratar. Este año Bayer tiene en sus planes la formulación de dicho producto por lo que es de suma importancia, encontrar un sistema de tratamiento para el agua de proceso de esta formulación.

VI. METODOLOGIA

- A. **Asignación de un proyecto de práctica laboral.** Preocupación por parte de las autoridades de Bayer Cropscience por tratar de una forma eficiente y económica el agua del proceso de la suspensión concentrada Monarca. El planteamiento del problema que esta agua causa a la empresa y la asignación del proyecto.
- B. **Caracterizar el agua.** Esta parte se muestrea el agua, y se analizan las propiedades fisicoquímicas de las diferentes muestras y se comparan con los análisis hechos con anterioridad por la planta.
- C. **Investigación.** Esta etapa consiste en la recopilación bibliográfica, en línea y por experiencia humana sobre todos los antecedentes y generalidades del tema, que colaborarán para el desarrollo del trabajo de investigación.
- D. **Experimentación.** En esta parte se elaborarán todos los experimentos posibles ya sean físicos, mecánicos y químicos para poder encontrar los diseños más adecuados para los intereses de la empresa.
- E. **Determinación del diseño más adecuado para el tratamiento del agua.** En esta parte, se evaluarán los diseños que cumplieron las expectativas del proyecto, se realizarán diferentes pruebas para medir variables de costo, de impacto ambiental y así se elegirá uno de los proyectos. Se presentarán resultados obtenidos para elección de un diseño.
- F. **Consideración del diseño y capacidad.** Se realizarán pruebas con volúmenes reales de tratamiento para determinar tiempos de tratamiento y viabilidad como efectividad del diseño.
- G. **Implementación de diseño en la planta.** Implementación de diseño, elaboración de metodología de tratamiento. Seguimiento y monitoreo de la fosa de tratamiento de agua.

VII. RESULTADOS

Con base en la investigación realizada se seleccionó el diseño II (bacteriológico).

El diseño seleccionado tiene estas variables:

Tabla No.2 "Variables del diseño II"

VARIABLES	Diseño II (Físico- Microbiológico)
Días de proceso	20-25
Inversión inicial	Q 19,038.95

Durante la instalación se monitoreo la degradación de la suspensión concentrada dando como resultado:

Tabla No.3 "Resultados del Diseño II después del tratamiento"

Corrida	Valor de DQO (ppm)
1	7.7
2	5.6
3	3.5
4	5.9
5	9.8
6	11.3
7	12.5
8	6.4
Valor promedio	7.8375

Tabla No. 4 "Comparación de costo"

Diseño	Costo total
Diseño I	Q 268,743.60
Diseño II	Q 19,038.95

La metodología para el diseño seleccionado. Basándose en la experimentación para 10 m³ se propone lo siguiente (del paso 1-9 se da en el lote móvil):

1. Tomar el agua con Monarca
2. Incrementar el pH a 13-14 con NaOH.

3. Dejar reposar el agua durante cuatro días.
4. Monitorear diariamente que el pH no baje de 13.
5. Agregar aproximadamente 1.5-2 kg de celite.
6. Agregar 15 g de floculante.
7. Agregar una carga de carbón activado de 10 kg o caolín 33.3kg.
8. Agitar durante de 2 a 3 horas.
9. Filtrar
 - a. Si se filtra un pH básico, se debe utilizar un papel filtro que resista el pH elevado.
 - b. Si se filtra un pH neutro , se recomienda utilizar ácido cítrico hasta a un pH de 7 (Se utiliza ácido cítrico por ser subproducto de otro proceso, este ácido no tiene uso útil y es tomado como desecho)
10. Tomar una muestra y determinar DQO.
11. Dependiendo del resultado agregar más NaOH y repetir procedimiento de pasos 2 a 7 (rango de capacidad de la fosa 2500-3000 ppm).
12. Dosificar el efluente a la fosa de captación de la planta de tratamiento por proceso biológico, poco por poco cada día hasta llegar a razón de 3 m3 por día.
13. Tomar muestras periódicas en la salida de la planta de tratamiento por procesos biológicos y determinar DQO.
14. Los sólidos sobrantes de la filtración son depuestos en un sistema de compostaje.
15. Si el DQO se mantiene en rangos normales continuar el proceso de descarga .
16. Observar periódicamente la fosa de aireación, no se deben acumular Iodos en la superficie .
17. Cualquier incremento brusco de DQO o acumulación de Iodos, interrumpir la descarga del agua proveniente del Lote Móvil.

El impacto ambiental generado por el diseño I es causado por la combustión los residuos, que se obtienen de la separación a través de las membranas. Estos residuos son incinerados y no se cuenta con los filtros necesarios para la eliminación de los gases tóxicos.

Mientras que el impacto ambiental causado por el diseño II es nulo ya que el índice de DQO *es* muy por debajo del límite establecido.

La eficiencia del diseño 1 es del 98 % , mientras que el diseño II es de 100 %, medido por método de columna de capa fina de alta resolución (HPLC). (Las muestra fueron analizadas en Alemania)

Ilustración No. 1: Diseño I
Diagrama de Flujo del Diseño Químico

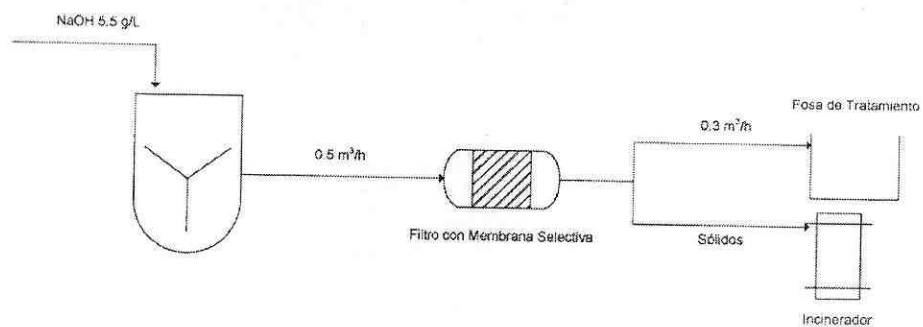
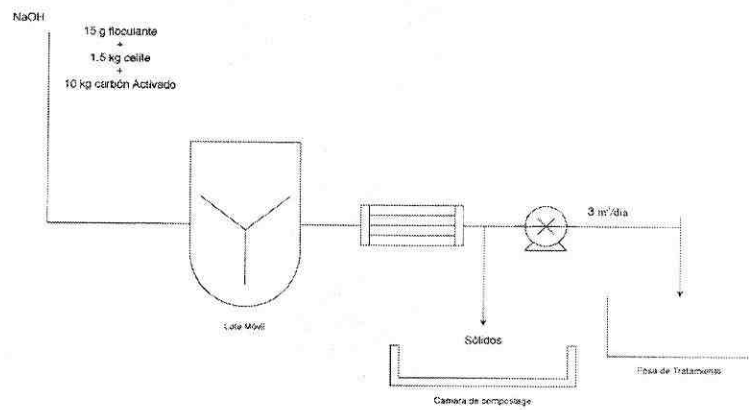


Ilustración No. 2: Diseño II
Diagrama de Flujo del Diseño Físico - Microbiológico



VIII. DISCUSIÓN

Se diseñaron dos diferentes formas para degradar la suspensión concentrada. Los procedimientos contaron con su metodología y su respectiva comprobación práctica. Al realizar los diferentes experimentos y a medida que se iba profundizando más en el tema, se comenzó a estudiar con la sustancia que se estaba tratando y se recopiló información teórica, que después fue aplicada a la realidad del problema que se tenía. Al profundizar, se pudo determinar que, el problema no era de degradación de la molécula, como erróneamente se creía, sino que era un problema de separación de fases al final del proceso. El estudio llegó a un momento en donde la separación de fases era el punto clave del problema.

Como se mencionó, se realizaron diferentes experimentos y pruebas, dando resultados satisfactorios dos métodos: el primero de ellos consistió en la degradación de la molécula por medio de la elevación del pH por tiempo prolongado (ver metodología, pág 24). El cometido de degradar se consiguió satisfactoriamente, pero la separación de la fase líquida y de la fase sólida era el gran problema debido a lo pequeño de la partícula y que los filtros convencionales daban un mal rendimiento. Por lo anterior, se sacrificó el costo por la eficiencia, al adaptar al proceso un equipo de filtración con membrana selectiva que permitiera el flujo del agua y que retuviera las partículas de "Monarca", para después ser incineradas. Esta membrana selectiva debe poseer como característica diámetros menores a $1\ \mu$ y polar para permitir el paso del agua pero no del soluto. Las eficiencias encontradas para una muestra piloto en microescala fueron arriba del 98 %, los inconvenientes que se pueden mencionar son los elevados costos de implementar un equipo de este tipo en la planta. Otro inconveniente es que no se probó a gran escala, los resultados que se obtuvieron fueron sólo para cantidades muy pequeñas en comparación con los volúmenes que se deben de manejar. Los costos de este equipo (ver apéndice, pág 42) son muy elevados ya que la inversión oscila alrededor de los Q 266,000.00 debido a que se debe comprar un equipo de filtración y un tanque de agitación para el tratamiento. El costo por concepto de mantenimiento es de Q 722.00 En general, el diseño propuesto alcanza un costo total de Q 268,743.60

El otro diseño consiste en la utilización del equipo ya existente en la planta, fosa de tratamiento (Kläranlage) y el Lote Móvil, en donde las bacterias, después de un tratamiento químico, son las encargadas de la purificación del agua. Para obtener resultados positivos, se debe hacer una combinación de los dos equipos. Al agua que contiene Monarca se le debe realizar el análisis de DQO, los valores obtenidos oscilan entre 20 000 a 22 000 ppm, por lo tanto se le debe dar el tratamiento descrito en resultados (ver recomendaciones, pág 33). Con este tratamiento se baja en un 30 % la carga de DQO del agua, por lo tanto al terminar con el tratamiento se le debe monitorear el DQO, el tratamiento consiste en la mezcla y agitación de las materias descritas en el procedimiento.

Se debe repetir dicho procedimiento hasta que la carga de DQO baje a 300ppm ya es la carga límite de DQO que soporta la planta de tratamiento. Es en este punto en donde las bacterias tienen la tarea de degradar la sustancia y limpiar el agua. Uno de los problemas encontrados, fue que a pesar de bajar la carga de DQO, las bacterias no tienen la capacidad de degradar todo el volumen del lote Móvil de una sola vez, y se deben dosificar los volúmenes que se le agregan a la planta para evitar que éstas mueran. Por experimentación se pudo determinar que la planta de proceso (Kläranlage) soporta un volumen de un 1/3 parte del Lote Móvil por día para ser degradada después de aplicarle el tratamiento, arriba de este volumen las bacterias no soportan la toxicidad y comienzan a aparecer lodos. El flujo volumétrico sería de unos 3 m^3 (3000L) diarios.

El costo total dependerá de la cantidad de tratamientos que se le apliquen y variarán entre 4 ó 5 tratamientos. El costo por tratamiento es de Q 524.59 Y como se explicó, si el lote necesita cuatro tratamientos el costo es de 2,090.00 quetzales, mientras, si se le da cinco tratamientos, el costo es de 2,618.96 quetzales. La inversión necesaria sería la compra de un lote de bacteria con costo aproximado de Q 3,420. El costo total a desembolsar para este sistema es de Q19,038.95. (Ver apéndice, costos de diseño 2, pág 44)

Al tratar el agua con este diseño se realizaron diferentes corridas para probar la eficacia de este diseño, se realizaron un total de ocho corridas en diferentes días con diferentes muestras de agua contaminada. En todas las corridas se utilizó el procedimiento propuesto (ver recomendaciones, pág 33), los resultados del agua al salir de la fosa fueron de un promedio de 7.83 ppm de DQO. Este valor está muy por debajo de los 300ppm requerido, lo cual indica que el agua puede ser desechada en la tubería municipal o reutilizada dentro de la planta.

Al comparar los dos métodos descritos con anterioridad se puede determinar que mientras el diseño de filtración por membrana tiene una duración de cinco días por cada 10 m^3 (10000 L) (4 días en elevación de pH y 1 día de separación por membrana). El método físico-microbiológico puede llegar a tardar de 20 a 25 días dependiendo cuantos tratamientos se necesiten en el Lote Móvil, para bajar la carga de DQO. Es obvio que el factor tiempo es el gran inconveniente en dicho diseño. Además de eso hay que tomar en cuenta que se necesitan tres días más para verter los 10 m^3 agua, a un flujo de 3 m^3 por día.

Por otra parte, desde el punto de vista económico el diseño I (separación por medio de una membrana selectiva) se necesita invertir en la compra de un equipo de filtración, estos equipos por tener una membrana selectiva son altamente costosos y el monto total estimado de este diseño, oscila alrededor de los Q266,000.0. Mientras que el diseño del tratamiento físico-microbiológico sus costos son bajos, ya que por lote de tratamiento se gasta alrededor de 524.58), y el costo final por lote va depender de la cantidad de tratamientos que se le deben de dar al agua.

Las cantidades pueden oscilar entre 4-5 lotes y el costo total de tratamiento por cada 10 m^3 puede

oscilar entre Q 2,090 y Q 2,618.96 (ver apéndice, pág 44). El monto total de inversión es de \$2504.60. Si se comparan los dos métodos hay una diferencia de 249, 704.65 quetzales

Desde el punto de vista de eficiencia, el método de la membrana es muy efectivo ya que la separación se da en un 98 %, mientras el otro método tiene una eficiencia del 100%. En Guatemala no se tenía la metodología para la medición por medio directo, por lo que se mandaron dos muestras del agua a Alemania para su verificación y no se encontraron muestras de los compuestos que forman la molécula de Monarca.

Por el lado de contaminación ambiental, es obvio que el método de la membrana causa una contaminación en el aire, a la hora de incinerar los sólidos remanentes de la separación de fases, por tanto es necesario poner filtros en la chimenea del incinerador para evitar la intoxicación de la población. El otro diseño no causa contaminación en el aire ya que el agua de tratamiento será descargada a red pública hasta que cumpla con los estándares de aguas públicas.

Se puede concluir que la selección del diseño se basó específicamente en costos, ya que la diferencia de costos es muy grande entre los dos diseños (ver apéndice, costos, pág 44). De esta manera se escogió el diseño físico-microbiológico, debido a su bajo costo en comparación con el otro diseño. Además, como ya se mencionó al tratar el agua con este diseño, se obtuvo resultados entre 3.5-12.5 ppm DQO, para un total de ocho corridas dando un valor promedio de 7.8 ppm DQO.

IX. CONCLUSIONES

- A. Se seleccionó el diseño físico-microbiológico.
- B. El diseño físico-microbiológico tiene un valor aproximado de Q 19,038.95, en comparación con los Q 268,743.60 del diseño de la separación por medio de la membrana.
- C. El tiempo de duración del diseño físico-microbiológico es de 20-25 días, dependiendo la cantidad de tratamientos que se le deba de dar.
- D. El diseño no causa un daño ambiental, ya que después del tratamiento determinado, el agua tratada tiene un valor promedio de 7.83 ppm de DQO, muy por debajo de los límites requeridos, asegurando que no se están desechando cantidades considerable contaminantes al agua municipal.
- E. En la determinación de la concentración de la suspensión concentrada debe utilizarse el método de cromatografía de columna líquida de capa fina de alta resolución (HPLC).

X. RECOMENDACIONES

- A. Se recomienda utilizar el desecho como fertilizante ya que el porcentaje de agente activo que tiene es alto y sí se puede utilizar.
- B. Se recomienda vender este desecho más barato a los campesinos que no tienen la posibilidad económica de comprar el producto principal.
- C. Se recomienda que la empresa exija la metodología de desecho o reutilización de cada nuevo producto que formulen o envasen, evitando así la acumulación de desechos tóxicos

XI. BIBLIOGRAFÍA

- CASTILLO López, Hugo Leonel. Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en la planta de tratamiento de aguas negras del municipio de Retalhuleu. Tesis ingeniero civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 1996
- Gibbs, Charles R. Chemical Oxygen Demand. (Technical information) Series, Blooket No.8 Loveland, Colorado U.S.A.: Hach Company, 1985. 16pp
- Ingeniería Ambiental S.A. Caracterización de efluentes de las empresas afiliadas a la gremial de agroquímicos, Guatemala 1997
- Kerimis. Manual de manejo y control de la planta depuradora de agua sociales por proceso biológico. Monheim. 1991
- Manuel Farinas Iglesias 1999 <http://www.gratisweb.com/aguapurificada2/osmosis2.htm>
- Moores W. Charles. "Wastewater biotreatment: What it can and cannot do" Chemical Engineering. 1972
- Quintero, Ramírez Rodolfo. **Ingeniería Bioquímica**. 1ª edición, México: Editorial 1981
- Water Treatment Handbook. Fifth edition in English. France: Fiemin Didot S.A 1992

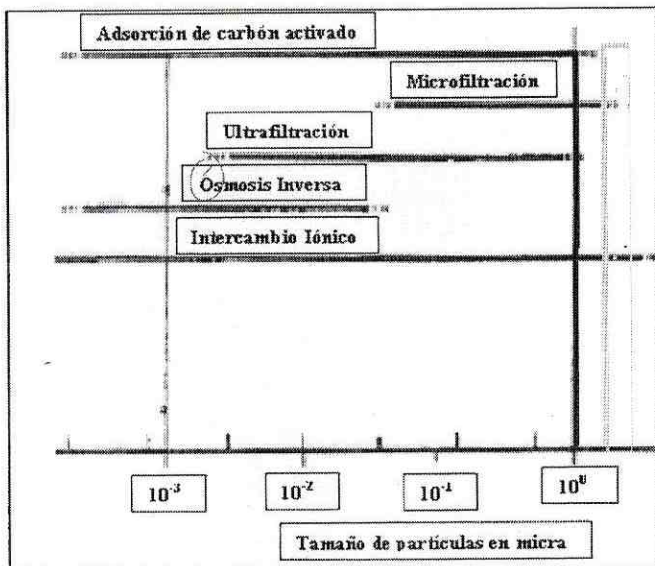
XII. APENDICE

A. Diseños

1. Diseño (degradación por medio de un pH alto)

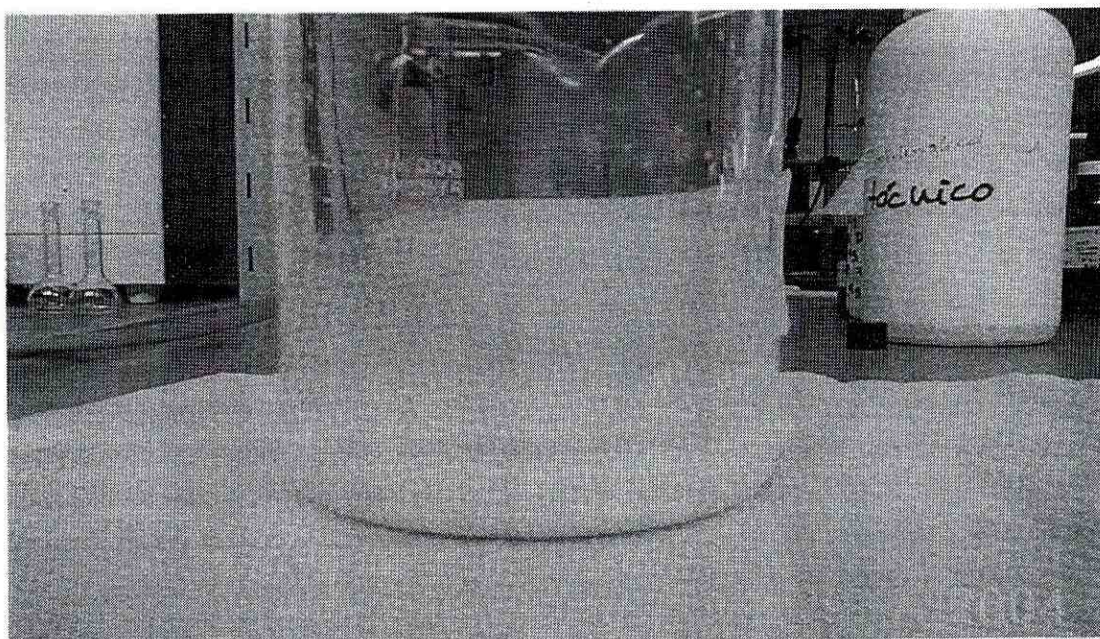
a. Análisis del problema. El problema con "Monarca" radica, en que no se sabe si el método empleado en la degradación o tratamiento del agua es el correcto, ya que puede ser que el método con el carbón activado no se adapte al tamaño de partícula existente. El método de absorción por medio de carbón activado trabaja cuando el tamaño de partícula oscila entre 1 y $10E^{-3}$ (ver figura 1). Se obtuvo el dato teórico del tamaño de molécula de "Monarca", la cual oscila entre 2 y $3\mu m$, de la (figura 2) se observa que el rango de utilización del carbón activado como medio de purificación está en el límite superior, lo cual no asegura que el método utilizado sea el correcto para la purificación del agua. Otros materiales de adsorción que se pueden utilizar son las arcillas, una de ellas puede ser el caolín, pero este no se puede quemar en el incinerador, ya que es una arcilla que no funde a temperaturas elevadas. Entonces el problema de este método radicaría en qué hacer con los desechos sólidos.

Ilustración No.3- Comparación del rango de tamaño de partícula de Monarca vrs Carbón activado



En la literatura se encontró que la estabilidad del beta-cyfluthrin a un pH entre (9-11) es de 5 días este componente constituye el 1.25 % del agente activo, mientras thiacloprid que constituye el 10.00 % del agente activo pierde su estabilidad a un pH de 12 en 4 días. Hay que considerar que teóricamente al degradar la molécula, ésta se hace más pequeña, como se observó se está trabajando afuera del límite superior donde la acción del carbón activado es nula, al romper la molécula se estaría dentro del rango de acción del carbón activado. Para lograr la desintegración de la molécula se debe llevar al agua con dicha solución a un pH de 14 durante cuatro días.

Foto1: Muestra de Monarca, tomada al 3er día



Se observó que al elevar el pH a 14 durante cuatro días se logran formar dos capas, una fase líquida y otra fase sólida. En este diseño el mayor problema radica en la separación de fases, el éxito de este diseño es encontrar un método de separación. Por los tamaños de partículas encontrados, por el pH de la solución y principalmente por la cantidad de sólidos que posee, la mejor opción es la separación de la misma por medio de una membrana selectiva. Por las variables mencionadas una filtración mecánica por métodos tradicionales no es aplicable.

b. Metodología propuesta.

- 1) Agregar agua a tratar en un tanque.
- 2) Agregar NaOH hasta que el pH del agua llegue a **14**, un aproximado de 5.5g de NaOH por cada litro de agua.
- 3) Dejar agua con agitación durante cuatro días.
- 4) Monitorear diariamente el agua para que esta se encuentre entre a **14**, en caso que el agua baje el pH agregar mas NaOH.
- 5) Bombear agua tratada hacia un sistema de filtración por medio de una membrana selectiva

c. **Discusión.** Se utilizó la elevación de pH para la degradación del Monarca, de la literatura se obtuvo información de la estabilidad de las moléculas que componen este producto. Se encontró el tamaño de partícula y se descubrió que el método que estaba siendo utilizado por la empresa no es el correcto, ya que por el tamaño de la partícula, la utilización de carbón activado no era funcional.

Por lo tanto el problema consistió en la degradación de la molécula, al elevar el pH de la solución a 14 durante cuatro días (ver gráfica) se logró tener una separación física del producto, que después fue comprobada por medio de un microscopio electrónico, que las moléculas de soluto ya estaban separadas de la solución, se logro tener una fase acuosa y una fase sólida (ver foto) al tener la suspensión (los sólidos) ya separados paso a ser un problema de separación. El método que se probó fue filtrar con el equipo de la empresa, pero este no fue eficiente debido a que el tamaño del poro del papel filtro era muy grande y el papel filtro no resistía por el elevado pH. Por lo tanto, se probó en una pequeña prueba piloto la filtración, por medio de una membrana selectiva de tamaño de poro de 0.5 μ , los resultados fueron muy efectivos, se le podía quitar el 98% de suspensiones al agua. Esto se comprobó por me medio de un HPLC en donde las trazas eran mínimas de residuos de Monarca.

2. Diseño Bacteriológico

a.- **Análisis del problema.** Este diseño consiste en encontrar la dilución necesaria o factor al cual hay que diluir el agua de los toneles para poder ser agregados en la Kläranlage (Planta de tratamiento) y así degradar las sustancias. Se realizaron varias pruebas en las cuales a un volumen de 500 ml de agua de la planta de tratamiento se le agregó el agua contaminada y por medio de una pequeña bomba de oxígeno se le proporciona oxígeno a la solución. Durante días consecutivos se agregaron

diferentes volúmenes de agua contaminada y estas dejaban oxigenar durante todo el día. Al día siguiente se sacaba una muestra del agua, se observaba en el microscopio para ver si las bacterias habían resistido la contaminación. El hecho de agregarlas poco a poco consistía en crear algún tipo de resistencia o inmunidad en las bacterias para que estas degradaran las sustancias. Así si las bacterias no morían, le agregaba la misma cantidad de volumen y a esperar otras 24 horas.

Tabla No.5 "Prueba de inmunidad"

Agua de Klärranlage (mL)	Agua de los toneles (mL)	Factor de dilución	Resultado
500	50	10	Muertas
500	25	20	Muertas
500	12.5	40	Muertas
500	10	50	Muertas
500	5	100	Muertas

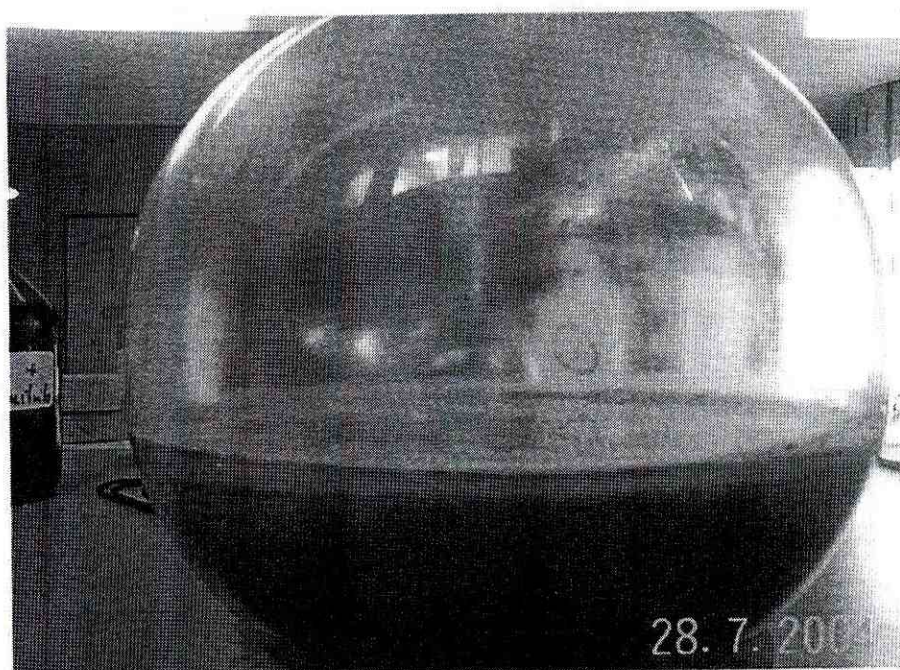
De lo anterior se encontró que el problema no es tanto el factor de dilución sino que el DQO que contuviera el agua. Por lo tanto, el diseño se basó en realizar un tratamiento para bajar el DQO del agua hasta llevarla a límites que las bacterias fueran capaces de degradar. Por lo tanto, se realizó un experimento con el agua del Batch del día 22/6/05. A este Batch se le realizó el análisis de DQO dando un resultado de 28 007.25 mg/L. A este Batch en particular se le trató con

Tabla No.6 Productos agregados por tratamiento

Producto	Cantidad en Kg
Soda	1.65
Carbón	10
Floculante	0.015
Celite	1.5

Después de cuatro días de tratar dicho Lote el pH fue de 12.5, a esta agua se le realizó el análisis de DQO dando un resultado de 396.5 ppm, la cual se agregó a la planta de tratamiento, primero la mitad del lote, para esperar dos días y agregar la otra mitad al siguiente día dando resultados positivos.

Foto 2: Agua de Monarca (capa de grasa).



b. Comparación de diseños

Tabla No. 7 "Comparación de métodos"

VARIABLES	Diseño 1 (Químico)	Diseño 11 (Físico-Microbiológico)
Días de proceso	5	20-25
Costo de operación	Q 268,743.60	Q 19,038.95
Contaminación	media por combustión	muy baja

c. Comparación de costos

1) Diseño I: Químico

Tabla No.8 "Costos de Diseño I"

Costos	Q
Inversión	152,000.00
Costo por tratamiento	38.00
Personal	2,021.60
Equipo	114,000.00
Mantenimiento	684.00
Total	268,743.60

En este diseño el monto de la inversión sería muy elevado debido a que se tiene que adquirir un equipo se encargue de la filtración por medio de una membrana selectiva. También se tendría que adquirir un tanque agitado para tratar un volumen de 10,000L, un tanque con una capacidad 20 m³, y una bomba para mover el flujo desde el tanque hasta el equipo de filtración. El mantenimiento equivaldría a unos Q 684.00 ya que se tiene que lavar la membrana con químicos que son algo caros. No se gastaría en personal debido a que el trabajo puede ser hecho por una persona ya existente. El costo por tratamiento incluiría únicamente el costo del NaOH.

2) Diseño II: Físico - Microbiológico

Tabla No. 9 "Costos Totales de Diseño II"

Costos	Q
Inversión	3,420.00
Costo por tratamiento	2,622.95.00
Personal	1,520.00
Equipo	11,400.00
Mantenimiento	76.00
Total	19,038.95

Tabla No. 10 "Costos por tratamiento"

Costo tratamiento	Costo por Tratamiento	Costo por Lote
Celite 2kg	24.70	123.50
15g floculante	12.31	61.55
10 kg caolín	307.84	1,539.20
13.750 kg NaOH	179.74	898.70
Costo Total	524.59	2,622.95

En este diseño la inversión sería la compra de un lote de bacterias. La variable que afecta mayormente a los costos en este diseño es el costo de mantenimiento. El costo de mantenimiento depende del número de tratamientos que se le de al lote. Se calculó un promedio de 4 a 5 tratamientos cada tratamiento lleva las cantidades descritas. Se debe adjuntar a los costos ya descritos, la contratación de una persona específicamente para esta labor. No se debe gastar en equipo ya que planta cuenta con el equipo necesario y el costo de mantenimiento asciende a unos Q 76 por conceptos de limpieza por lote